МОНГОЛ УЛСЫН ШИНЖЛЭХ УХААН ТЕХНОЛОГИЙН ИХ СУРГУУЛЬ
MONGOLIAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

ЭРДЭМ ШИНЖИЛГЭЭНИЙ БҮТЭЭЛИЙН ЭМХЭТГЭЛ

№25(10)
357

УЛААНБААТАР ХОТ
2025 он

ХӨДӨЛМӨРИЙН ГАВЬЯАНЫ УЛААН ТУГИЙН ОДОНТ
ШИНЖЛЭХ УХААН, ТЕХНОЛОГИЙН ИХ СУРГУУЛЬ

Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургуулийн
Эрчим Хүчний Инженерчлэлийн Сургуулийн 65 жилийн ойд зориулав.

ЭРДЭМ ШИНЖИЛГЭЭНИЙ БҮТЭЭЛИЙН ЭМХЭТГЭЛ

№ 25(10)357

УЛААНБААТАР ХОТ
2025 ОН

ISSN 1560-8794

ЭХИС-д суралцаж буй бакалавр, магистр, доктор оюутнуудын эрдэм шинжилгээний хурлыг зохион байгуулахад гүн туслалцаа үзүүлж хамтран ажиллаж буй “Монголын Алт” ХХК-ийн хамт олонд нийт оюутнуудынхаа нэрийн өмнөөс гүн талархал илэрхийлж ажлын өндөр амжилт хүсэн ерөөе.

Энэхүү илтгэлүүдийн эмхэтгэлд ШУТИС-ийн ЭХИС-д суралцаж буй нийт бакалавр, магистр, доктор оюутнуудын эрдэм шинжилгээ, судалгааны ажлын явц, зарим үр дүнг илэрхийлсэн илтгэлүүдийг нэгтгэн оруулсан болно.

Хэвлэлд бэлдэж ирүүлсэн материалуудыг нэгтгэхдээ зохиогчийн санааг огт өөрчлөөгүй боловч зарим үг үсэг, зураг схемийн хэмжээг өөрчилсөн ба ямар нэгэн алдаа гарсан бол зохиогчоос нь хүлцэл өчье.

“ЭРДМИЙН ЧУУЛГАН 2025” бакалавр, магистр, доктор оюутны эрдэм шинжилгээний бага хурал. Илтгэлүүдийн эмхэтгэл. УБ: 2025

Бүтээлийн эмхэтгэл хянан магадалсан:

Редакцын зөвлөлийн дарга: ЭХИС-ийн захирал доктор (Sc.D), профессор Б.Бат-Эрдэнэ

Редакцын зөвлөлийн гишүүд: Эрдэмтэн нарийн бичгийн дарга: доктор (Ph.D) Д.Үлэмж
Бага хурлын нарийн бичгийн дарга: доктор (Ph.D) Т.Батгэрэл
Гишүүд: Доктор (Ph.D), дэд профессор Д.Цэрэндолгор
Доктор (Ph.D), дэд профессор Б.Загдхорол
Доктор (Ph.D), дэд профессор Х.Сарангэрэл
Доктор (Ph.D) О.Чимэд
Доктор (Ph.D) Б.Түвшинбаяр
Доктор (Ph.D) Э.Байгаль
Доктор (Ph.D) Ж.Ням
Доктор (Ph.D) Ц.Чингэс
ЭШИХАжилтан: Э.Оюунтүлхүүр
Магистр Б.Бавуу-Орги

Эмхэтгэсэн: (11pt)
Хуудасны хэмжээ:
Бодит хэвлэлийн хуудас:
Үсгийн гарнитур: Times New Roman
Тоо хэмжээ:
.....хэвлэв.

ГАРЧИГ

1-р хэсэг. Магистр оюутнуудын илтгэлүүд

ДУЛААН ХАНГАМЖИЙН СИСТЕМИЙН ГОРИМ ТОХИРУУЛГЫН ТООЦООГ ПРОГРАММ ХАНГАМЖААР ТООЦООЛЖ ХАРЬЦУУЛСАН СУДАЛГАА **Б.Лхагвадулам, П.Бямбацогт**	5
ШИЛЭН ПАССАТ БҮХИЙ ҮЙЛЧИЛГЭЭНИЙ БАРИЛГЫН ДУЛААН АЛДАЛТЫГ БУУРУУЛАХ ЗАМААР ДУЛААНЫ ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ ХЭМНЭЛТ ХИЙХ БОЛОМЖИЙН СУДАЛГАА **Н.Энхманлай, П.Бямбацогт**	10
ТАРХМАЛ НАРНЫ ЦАХИЛГААН ҮҮСГҮҮРИЙН БАЙРЛАЛ БОЛОН НЭВТРҮҮЛЭЛТИЙН ТҮВШИН НЬ ТҮГЭЭХ СҮЛЖЭЭНИЙ ГОРИМД ҮЗҮҮЛЭХ НӨЛӨӨЛӨЛ **Х.Хулан, М.Эрдэнэтуяа, Д.Нэмэхбаяр, Э.Энхсайхан**	15
ЦДҮС ТӨХК-ИЙН ЗҮҮН-ӨМНӨД БҮСИЙН ЦАХИЛГААН ДАМЖУУЛАХ СҮЛЖЭЭНИЙ РЕАКТИВ ЧАДЛЫН ТОХИРУУЛГАД НАРНЫ ЦАХИЛГААН СТАНЦЫН ҮЗҮҮЛЭХ НӨЛӨӨЛӨЛ **Д.Баяржаргал, Д.Анхбаяр, А.Ганбаатар, Э.Энхсайхан**	21
ДОРНОД АЙМГИЙН АДУУНЧУЛУУНЫ УУРХАЙН 300 МВТ ЧАДАЛТАЙ ДУЛААНЫ ЦАХИЛГААН СТАНЦ ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ СИСТЕМД ХОЛБОГДОХ ҮЕИЙН ГОРИМЫН ТООЦОО **Г.Мөнхтөр, Б.Цэрэнбат, Ч.Амарсайхан, Э.Энхсайхан**	27
МОНГОЛ ОРНЫ НӨХЦӨЛД ТОХИРСОН ГЭРИЙН ХАЛААЛТЫН ШИЙДЭЛ **Э.Жавхлантөгс, М.Ганхүлэг, Г.Мөнгөншагай, Э.Мөнхтуяа**	32
ТӨВИЙН ХАЛААЛТЫН СИСТЕМД ХОЛБОГДООГҮЙ ӨРХИЙН ХАЛААЛТЫГ ШИЙДЭХ БОЛОМЖИЙН СУДАЛГАА **С.Мөнхзул, Б.Сэргэлэн, Д.Далайцэрэн**	38
ЦАХИЛГААН ТЭЭВРИЙН ХЭРЭГСЛИЙН ЦЭНЭГЛЭХ СТАНЦЫН ЦАХИЛГААН ХАНГАМЖИЙГ СЭРГЭЭГДЭХ ЭРЧИМ ХҮЧЭЭР ШИЙДЭХ БОЛОМЖИЙН СУДАЛГАА **Ц.Басзул, М.Баяржавхлан, Б.Сэргэлэн Э.Мягмаржаргал**	43
ДОРНОД АЙМГИЙН 6 КВ-ЫН ЦАХИЛГААН ШУГАМ СҮЛЖЭЭНИЙ ЧОЙБАЛСАН ФИДЕРИЙН ЭРЧМИЙН АЛДАГДЛЫГ БУУРУУЛАХ СУДАЛГАА **Л.Энх-Амьдрал, П.Эрхэмтөр, Ч.Амарбаясгалан, Ц.Болдбаатар, Д.Содномдорж**	48
ТӨВИЙН БҮСИЙН ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ СИСТЕМИЙН ИХ АЧААЛЛЫН МАТЕМАТИК ЗАГВАРЧЛАЛ **Н.Ган-Эрдэнэ, Ш.Гантөмөр**	54
35 кВ-ЫН ЦАХИЛГААН ДАМЖУУЛАХ ШУГАМЫН ДАМЖУУЛАГЧИЙН ХӨНДЛӨН ОГТЛОЛЫН ОНОВЧЛОЛЫН СУДАЛГАА **Ө.Энхтүвшин, П.Загдрагчаа, Э.Амгаланбат, О.Цогбаяр**	58
ЦАХИЛГААН ШУГАМ СҮЛЖЭЭНИЙ ЦАХИЛГААН ЭНЕРГИЙН ДАМЖУУЛАЛТЫН ОНОВЧЛОЛЫН СУДАЛГАА **В.Батбаяр, Н.Эрдэнэбархас, О.Цогбаяр**	63
10 кВ-ЫН ЦАХИЛГААН ШУГАМ СҮЛЖЭЭНИЙ ЧАДАЛ ЭРЧМИЙН АЛДАГДЛЫГ БУУРУУЛАХ СУДАЛГАА **Т.Билгүүн, Б.Мягмарренчин, О.Цогбаяр**	67
ТҮГЭЭХ ЦАХИЛГААН ШУГАМ СҮЛЖЭЭНИЙ ЧАДАЛ, ЭРЧМИЙН АЛДАГДЛЫН ТООЦООНЫ ХАРЬЦУУЛСАН СУДАЛГАА **Э.Оюунтүлхүүр, О.Цогбаяр**	71

ХАЯГДАЛ ДУЛААН АШИГЛАН ЦАХИЛГААН ЭРЧИМ ХҮЧ ҮЙЛДВЭРЛЭХ WHRPG СИСТЕМИЙН СУДАЛГАА **П.Эрхэмтөр, С.Энхзул, Х.Билгүүнбат, Р.Цэрэнсамбуу, С.Баатарзул**	78
ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ СИСТЕМД СТАТИК ВАР ГЕНЕРАТОР ТӨХӨӨРӨМЖ АШИГЛАН СИСТЕМИЙН ГОРИМ ТОГТВОРЖУУЛАХ ХАРЬЦУУЛСАН СУДАЛГАА **Б.Ачит-Эрдэнэ, П.Эрхэмтөр**	82
ХЭРЭГЛЭГЧИЙН ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ ХЯНАЛТЫН УХААЛАГ СИСТЕМ **Ц.Баттогтох, Бя.Бат-Эрдэнэ**	88
ТҮГЭЭХ СҮЛЖЭЭНИЙ ХЭТ АЧААЛАГДСАН ТОНОГЛОЛЫН СУДАЛГАА **Б.Өлзийбаатар, Б.Билгүүн**	93
ФЛЮРЕСЦЕНЦ АППАРАТЫН ТОХИРГООНЫ ТАВИЛААР ДҮРСЛЭЛИЙН ЧАНАРЫГ САЙЖРУУЛАХ БОЛОМЖИЙН СУДАЛГАА **Д.Цэрэндулам, М.Бумбат**	97
МОНГОЛ УЛС ДАХЬ ШУГАМАН ХУРДАСГУУРТ АППАРАТЫН АШИГЛАЛТЫН ӨНӨӨГИЙН БАЙДАЛ **Д.Батболор, Д.Пүрэвдаш**	104
ӨНДӨР ДАВТАМЖИЙН ЦАХИЛГААН МЭС ЗАСЛЫН АППАРАТНЫ ХЭВИЙН АЖИЛЛАГААГ ХАНГАХ НЬ **Магистрант Д.Будхүү, Д.Пүрэвдаш**	109

2-р хэсэг. Доктор оюутнуудын илтгэлүүд

CPA3-LD ЗАГВАРЫН МЕМБРАН ЭЛЕМЕНТИЙГ ХИМИЙН АРГААР УГААСАН ТУРШИЛТЫН ҮР ДҮНГЭЭС **Д.Анударь, Б.Оюунсувд**	115
УРЬДЧИЛСАН ТӨЛБӨРТ УХААЛАГ ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ СИСТЕМ: ШИНЭЧЛЭЛ, ХЭРЭГЖИЛТИЙН БОЛОМЖ **Ж.Мамарбек, Б.Бат-Ундрал**	120

3-р хэсэг. Бакалавр оюутнуудын илтгэлүүд

420 МВТ ЧАДАЛТАЙ ЦӨМИЙН ЦАХИЛГААН СТАНЦЫГ АШИГЛАН УСТӨРӨГЧ ҮЙЛДВЭРЛЭХ СУДАЛГАА **Ч.Хонгор, Ш.Энхбаяр**	126
Т-120/130-130-8МО ТУРБИНТАЙ ДУЛААНЫ ЦАХИЛГААН СТАНЦЫН АЖЛЫН БИЕИЙН ПАРАМЕТРИЙН ӨӨРЧЛӨЛТИЙГ ЗАГВАРЧЛАЛ ПРОГРАММ ДЭЭР ТОДОРХОЙЛОХ **Х.Цолмон, О.Учрал-Эрдэнэ**	134
ЗИГЛЕР НИКОЛЬСИЙН АРГААР ПИД КОНТРОЛЛЕРЫГ ХӨГЛӨХ СУДАЛГАА **Б.Отгонбилэг, Д.Үлэмж**	137
БЭЛЧЭЭРИЙН МОНГОЛ ҮХРИЙН МАХНЫ ДУЛААНФИЗИКИЙН ПАРАМЕТРИЙГ ТОДОРХОЙЛОХ, ХАРЬЦУУЛСАН СУДАЛГАА **Г.Ханхүү, М.Оюун-Эрдэнэ**	141
ЭМНЭЛГИЙН БАРИЛГЫН ДОТОР АГААРЫН ЧАНАР САЙЖРУУЛАХ БОЛОМЖИЙН СУДАЛГАА **С.Төгөлдөр, Б.Мөнх-Эрдэнэ, М.Оюун-Эрдэнэ**	147
НАРНЫ ЦАХИЛГААН ҮҮСГҮҮРИЙГ ДАХИН БОЛОВСРУУЛАХ ТЕХНОЛОГИЙН СУДАЛГАА **С.Маргад, Ч.Наранзул, Д.Батдорж, Э.Мөнхтуяа**	152

ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ ХЭМНЭЛТТЭЙ БАРИЛГЫН ЦАХИЛГААН ХЭРЭГЛЭЭГ НАРНЫ ЦАХИЛГААН ҮҮСГҮҮРЭЭР ХАНГАХ 161
О.Даваачулуун, Б.Цэвэлсүрэн, Х.Сарангэрэл

НАРНЫ ЗАЙН СИСТЕМИЙН СҮҮДЭРЛЭЛТИЙН НӨЛӨӨЛЛИЙГ СУДЛАХ 169
Ч.Даваадорж, Б.Мөнхшүр Х.Сарангэрэл

НАРНЫ ХАВТАНГИЙН НАЛАЛТЫН ӨНЦӨГ НЬ АШИГЛАЛТ, ЗАСВАРТ ҮЗҮҮЛЭХ НӨЛӨӨЛЛИЙН СУДАЛГАА 175
Н.Мөнхсаран, Г.Мөнгөншагай

ХОЁР ТАЛТ НАРНЫ ХАВТАНГИЙН ТЕХНОЛОГИ АШИГЛАСАН БӨМБӨРЦӨГ ХЭЛБЭРТЭЙ НАРНЫ ЦАХИЛГААН ДУЛААН ХОСОЛСОН ҮҮСГҮҮРИЙН СУДАЛГАА 179
М.Солонго, Г.Мөнгөншагай

АГААРЫН ШУГАМЫН ДАВТАМЖ БОЛОН УРТААС ХАМААРСАН ПАРАМЕТРҮҮДИЙН ХЯЛБАРШУУЛСАН ТООЦООЛОЛ 184
Ц.Сумъяарагчаа, С.Анхзаяа, Ц.Чингэс

ЦАХИЛГААН ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ ЗОХИСТОЙ ХЭРЭГЛЭЭНИЙ ҮР АШИГ 187
Б.Лхагвадулам, Б.Одонгуа, Б.Батзаяа

ЦАХИЛГААН ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ ҮНИЙН ТААМАГЛАЛ 191
Б.Одонгуа, Б.Батзаяа

ХҮЧДЭЛ ТОХИРУУЛГЫН УЛАМЖЛАЛТ ТӨХӨӨРӨМЖИЙН СИМУЛЯЦИ, СУДАЛГАА 195
Б.Даваахүү, Б.Энэрэлт, Б.Загдхорол

ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ СИСТЕМИЙН ДАВТАМЖИЙН ӨӨРЧЛӨЛТИЙН ХЯНАЛТЫН СИМУЛЯЦИ 199
Б.Энэрэлт, Б.Даваахүү, Б.Загдхорол

ГУРВАН ТАРИФТ ТООЛУУРЫН СУДАЛГАА 205
Б.Адьяамаа, Ө.Баярмаа

ХҮЧНИЙ ХАГАС ДАМЖУУЛАГЧИД СУУРИЛСАН ИНВЕРТЕРИЙН СУДАЛГАА 209
М.Даваадорж, Д.Өлзийноров

ТОГТМОЛ ГҮЙДЛИЙН МОТОРЫН МАТЕМАТИК ЗАГВАРЫГ ТАНИХ БА УДИРДАХ СИСТЕМИЙН СУДАЛГАА 213
Т.Ууганбаяр, А.Бадрал, Б.Энх-Амгалан

ЭРҮҮЛ МЭНДИЙН САЛБАР ДАХЬ ТЕЛЕМЕДИЦИНИЙ ӨНӨӨГИЙН БАЙДАЛ 222
Б.Бадамгарав, М.Бумбат

РЕНТГЕН ЦАЦРАГИЙН ШИНГЭЭЛТ ЯСНЫ ЭРДСИЙН НЯГТЫН ХЭМЖИЛТЭД НӨЛӨӨЛӨХ НЬ 227
Ч.Намуун, М.Бумбат

УТАСГҮЙ ЦЭНЭГЛЭГЧИЙН ДИЗАЙН БА ХЭРЭГЖҮҮЛЭЛТ 231
Б.Өсөхсайхан, Э.Дашпунцаг, Д.Өлзийноров

ОДОМЕТР ДЭЭР СУУРИЛСАН ДУУ ХООЛОЙГООР УДИРДДАГ ГУРВАН ДУГУЙТ РОБОТЫН СИСТЕМ 236
Ч.Амартүвшин, Л.Дэмбэрэлдодов, Н.Энхбаатар, Н.Сугарсүрэн, Д.Өлзийноров

ОРЧИН ҮЕИЙН ДЭВШИЛТЭТ ТЕХНОЛОГИ БҮХИЙ РЕНТГЕН ТОНОГ ТӨХӨӨРӨМЖҮҮД 241
Б.Билгүүн, Д.Пүрэвдаш

ШУГАМАН ХУРДАСГУУРЫН ТЕХНИК ХАНГАМЖИЙН АСУУДАЛ 248
Б.Нандинзаяа, Д.Пүрэвдаш

ARDIUNO UNO-Д СУУРИЛСАН УСНЫ ЧАНАР ТОДОРХОЙЛОГЧИЙН ХӨГЖҮҮЛЭХ АСУУДАЛ 254
Г.Мөнхчимэг, Д.Пүрэвдаш

ТЕМПЕРАТУР, ЧИЙГШЛИЙН УДИРДЛАГЫН СИСТЕМТЭЙ ИНКУБАТОР ХӨГЖҮҮЛЭХ АСУУДАЛ 259
Д.Баяржаргал, Д.Пүрэвдаш

СИНУСЛЭГ ПАРАМЕТРИЙН ГАРАЛТТАЙ ИНВЕРТЕРИЙГ УГСАРЧ ХЭРЭГЛЭХ БОЛОМЖИЙН АСУУДАЛ 265
М.Дэлгэрмэнд, Д.Пүрэвдаш
ДОХИОНЫ ХЭЛИЙГ АВТОМАТЖУУЛАХ БОЛОМЖИЙН АСУУДАЛ 270
Т.Анхбаяр, Д.Пүрэвдаш
ЭРҮҮЛ МЭНДИЙН ТЕХНИКИЙН САЛБАР ДАХЬ ХИЙМЭЛ ОЮУН УХААНЫ ХЭРЭГЛЭЭ 276
Ц.Баясгалан, Д.Пүрэвдаш
ЭМНЭЛГИЙН ТОНОГ ТӨХӨӨРӨМЖҮҮДИЙН ШАЛГАЛТ, ТОХИРУУЛГИЙН АСУУДАЛ 281
Б.Нинжмаа, Д.Пүрэвдаш
ХИЙМЭЛ ОЮУН УХААНД СУУРИЛСАН БИОНИК ГАРЫГ ХӨГЖҮҮЛЭХ АСУУДАЛ 286
Э.Учрал, Д.Пүрэвдаш

МАГИСТР ОЮУТНУУДЫН ИЛТГЭЛҮҮД

ДУЛААН ХАНГАМЖИЙН СИСТЕМИЙН ГОРИМ ТОХИРУУЛГЫН ТООЦООГ ПРОГРАММ ХАНГАМЖААР ТООЦООЛЖ ХАРЬЦУУЛСАН СУДАЛГАА

Баасанжавын ЛХАГВАДУЛАМ[1,2*], Пашкагийн Бямбацогт[2*]
[1]Монгол улс, Улаанбаатар, "Улаанбаатар дулааны сүлжээ" ТӨХК
[2]Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Дулааны инженерийн салбар
[*]Холбогдох зохиогчийн и-мэйл хаяг: Duka0129@yahoo.com, P_Byambatsogt@must.edu.mn

Хураангуй: ***Дулаан хангамжийн системийн горим, тохируулгын ажил нь эрчим хүчний салбарын хувьд хэрэглэгчдийг дулаанаар найдвартай хангаж чадаж байгаа эсэх, хаана хүндрэл үүссэн, цаашид дулааны сүлжээнд хаана хүндрэл үүсэхээр байна зэрэг үнэлгээ өгөх ёстой хамгийн чухал тооцоолол юм. Мөн Монгол улсын хэмжээнд дулааны гидравлик тооцооны ямар ямар программ хангамжуудыг ашиглаж байсан болон одоо ямар программ хангамжуудыг бусад улс орнууд түлхүү ашиглаж байгаа, тэдгээрийн тооцооллын онцлог зэргийг судлан инженер техникийн ажилтан нарт мэдээллийг нэгтгэн өгөх зорилготой юм. Гидравлик тооцоог 1.32 Гкал/ц ачаалалтай ус дулаан дамжуулах төвийн дулаан хангамжийн системийн горим тохируулгын тооцоог ZulThermo-8.0 программ болон гар тооцооллоор тус тус тооцсон. Горим тохируулгын тооцоог программ хангамж ашиглаж тооцсоноор гарах давуу талуудыг дурдсан болно.***

Түлхүүр үг – Дулаан хангамж, гидравлик горим, зарцуулалт, тохируулга, тооцоолол, программ хангамж

I.УДИРТГАЛ

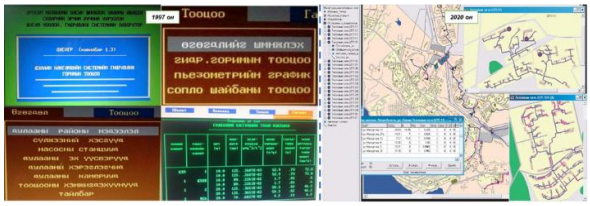
Эрчим хүчний хэрэглээний үр ашгийг дээшлүүлэхэд чиглэсэн асар олон тооны технологиуд байдаг бөгөөд түүний нэг хэсэг нь дулаан хангамжийн системийн горим боловсруулах, боловсруулсан горимын дагуу тухайн дулаан хангамжийн системд тохируулга хийх ажил томоохон байрыг эзэлдэг. Дулаан хангамжийн системийн гидравлик тооцоог программ хангамж ашиглаж тооцоолох нь ус дулаан дамжуулах төвийн нийт ачаалал, тухайн схемээс хамааран халаалт, хэрэглээний халуун усны ачаалал, зарцуулалт, өгөх, буцах шугамын даралт, напорын зөрүү, хэрэглэгч тус бүр дээр даралт, зарцуулалтыг тооцоолон гаргах боломжтой. [1] Энэ нь халаалтын системийн гидравлик тооцоолол хийдэг инженер техникийн ажилтнуудын ажлыг хөнгөвчилж байна.

А. Улаанбаатар хотын дулаан хангамжийн системд ашиглагдаж байсан гидравлик горимыг тооцоолох программ хангамж болон тэдгээрийн гарал үүсэл [2]:

1. Минск-22, Минск-32 – 1983 онд ашиглагдаж байсан электрон компьютерүүд юм.

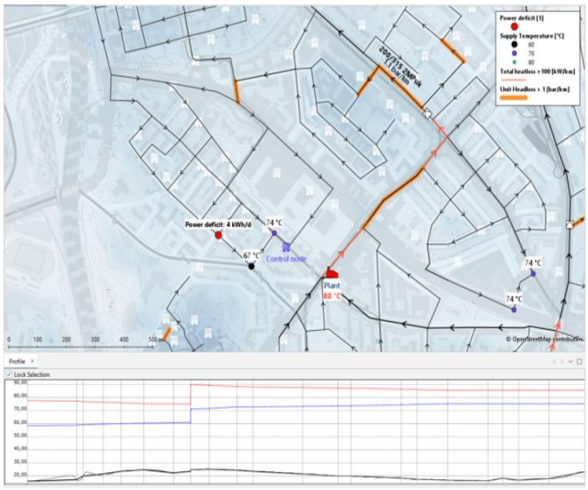
1-р зураг. Анхны цахим дижитал компьютерүүд Минск-22, Минск-32

2. Disigr – 1997 онд ашиглаж цаасан эх сурвалжаас программын мэдээллийн сангийн түвшинд шилжүүлснээр сүлжээний гидравлик горимын хөдөлмөр их шаардсан тооцоог хурдан, өндөр нарийвчлалтайгаар гүйцэтгэхийн зэрэгцээ дулааны сүлжээний оновчтой горимыг дахин ашиглах, боловсруулахад шаардлагатай бүх өгөгдлийг хадгалах боломжтой болсон.



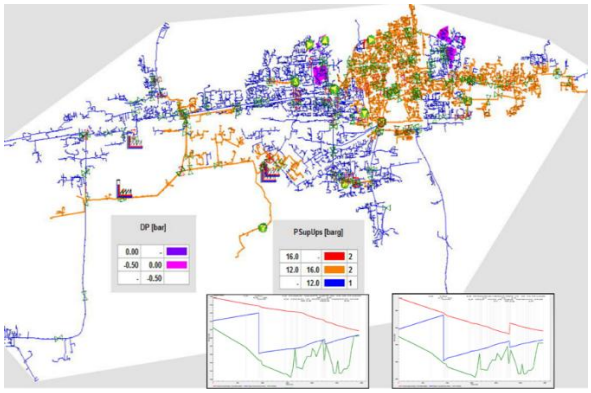
2-р зураг. " Disigr " программын интерфэйс

3. LIQUID – 1998 оноос хойш 2 дугаар хэлхээний горимыг тооцоолохдоо ашиглаж байна.



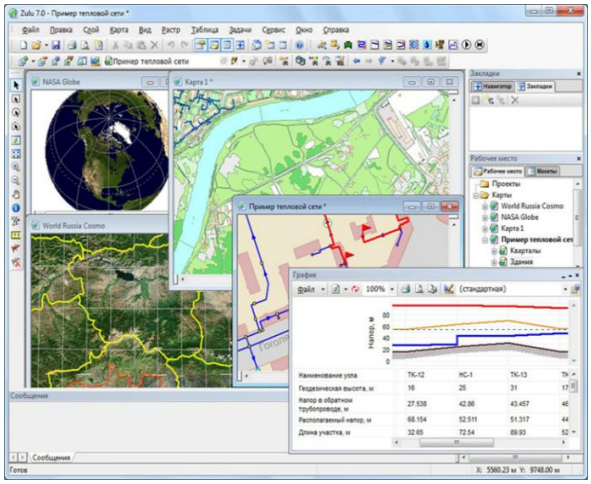
3-р зураг. «LIQUID» программын интерфэйс

4. Termis – 2003 онд хяналтын системийг тооцоолоход ашигладаг.



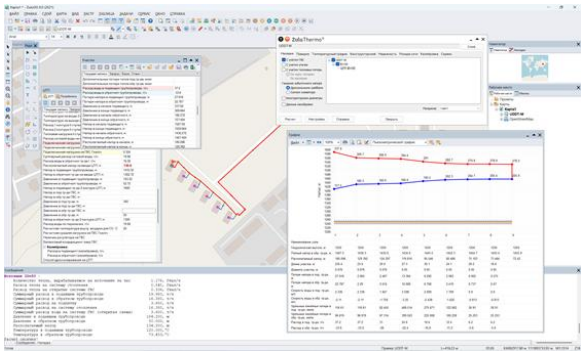
4-р зураг. «Termis» программын интерфэйс

5. ZuluThermo-7.0 – 2012 оноос ашиглаж эхэлсэн.



5-р зураг. «Zulu Thermo-7.0» программын интерфэйс

6. ZuluThermo-8.0 – 2017 оноос шинэлэгдсэн программ хангамжийг ашиглаж эхэлсэн.



6-р зураг. «Zulu Thermo-8.0» программын интерфэйс

В. Гидравлик тооцоонд ашиглагдаж байгаа программ хангамжууд

1. VALTEC.PRG.3.1.3. Дулааны инженерийн болон гидравлик тооцооллын программ

VALTEC.PRG программыг чөлөөтэй ашиглах боломжтой бөгөөд усны радиатор, шал, хананы халаалтыг тооцоолох, байрны дулааны хэрэгцээ, хүйтэн, халуун усны шаардагдах хэрэглээ, бохирын хэмжээг тодорхойлох, байгууламжийн дулаан, усан хангамжийн дотоод шугам сүлжээний гидравлик тооцоог авах боломжтой. Нэмж дурдахад хэрэглэгч лавлагааны материалыг тохиромжтой байдлаар сонгох боломжтой. Тодорхой интерфэйсийн ачаар та инженерийн мэргэжилгүй ч гэсэн программыг эзэмших боломжтой. Хөтөлбөр нь инженерийн системийг зохион бүтээх, суурилуулах ажлыг зохицуулдаг[3].

2. Стокс гидравлик тооцооллын программ

Стокс бол цагариг болон гацсан шугам хоолойн гидравлик тооцооллын энгийн программ юм.

Стокс нь хий эсвэл шингэний изотермийн нэг фазын урсгалтай дамжуулах хоолойн гидравлик тооцоонд зориулагдсан. Бүх хоолойнууд нь дугуй хөндлөн огтлолтой, шингэн нь шахагдах боломжгүй, хийн хэт шахалтын коэффициент 1 байна гэж үздэг. Тиймээс Стоксыг дараах тохиолдолд даралтын алдагдлыг тооцоолоход ашиглаж болно.

- Бага ба өндөр даралтын хий дамжуулах хоолой (SP 42-101-2003 стандартын дагуу 1.2 МПа хүртэл),
- Хүйтэн ус дамжуулах хоолой,
- Нэг фазын урсгалтай, температурын мэдэгдэхүйц хэлбэлзэл байхгүй тохиолдолд газрын тосны бүтээгдэхүүн дамжуулах хоолой болон бусад дамжуулах хоолой.

Стокс нь эргэлт, дугуй бус хоолой, олон фазын урсгал, таталцлын урсгал, урсгалын хурдыг цаг хугацааны явцад өөрчлөх шаардлагатай үед тохиромжгүй[4].

II. ОНОЛЫН ХЭСЭГ

Хугацааны тухайн агшинд дулаан хангамжийн системийн аль нэг хэсгийн хувьд дулаан зөөх биеийн зарцуулалт ба даралт харилцан хамаарч хэрхэн өөрчлөгдөхийг гидравликийн горим гэнэ. Дулааны сүлжээнд холбогдох хэрэглэгч бүрийн дулааны тооцоот ачааллыг бүрэн хангахын тулд хэрэглэгч бүрд очвол зохих сүлжээний усны зарцуулалтыг шугам хоолойн нэвтрүүлэх чадвартай уялдуулан тооцож хуваарилахыг гидравликийн тооцоот горим гэх бөгөөд өвөл ба зуны горим гэж ангилна.

Дулаан хангамжийн системийн гидравлик горимын тооцооны үндсэн зорилго нь сүлжээний хоолойн диаметр тодорхой байх нөхцөлд хэрэглэгч бүрийн болон сүлжээний хэсэг бүр дээрх усны зарцуулалтууд, хэсгүүд тус бүрийн даралтын уналт, мөн узелүүд, дулааны дэд станц, хэрэглэгчийн оруулга бүрийн боломжит түрэлтийг тодорхойлоход оршино. Гидравлик горимын тохируулгын зорилго нь бүх сүлжээний хэсэг тус бүрд дулаан зөөгчийн зарцуулалтыг хэвийн хэмжээнд байлгахад оршино.

Шугам хоолойн дотуур урсаж байгаа дулаан зөөх биеийн даралтын уналт, байршлын эсэргүүцэл дээрх даралтын уналтын нийлбэр юм.

$$\Delta P = \Delta P_{ш} + \Delta P_{б.э} \qquad (1)$$

Энд: $\Delta P_{ш}$ –даралтын шугаман уналт, Па; $\Delta P_{б.э}$ – байршлын эсэргүүцэл дээрх даралт, Па.

Хоолойн уртын дагуу шулуун хэсэг дээрх даралтын уналтыг дараах томьёогоор олно.

$$\Delta P_{ш} = R_{ш} \cdot l \qquad (2)$$

Энд: $R_{ш}$ – хоолойн нэгж уртад ноогдох даралтын хувийн шугаман уналт, Па/м; l – хоолойн хэсгийн урт, м.

Хоолойн шулуун хэсэгт гадаргуугийн үрэлтээр үүсэх даралтын угаалтыг шугаман даралт гэнэ. Даралтын хувийн шугаман уналтыг дараах томьёогоор тодорхойлно.

$$R_{ш} = \lambda \cdot \frac{\omega^2}{2d} \cdot \rho = \frac{0.812 \cdot \lambda}{d^5 \cdot \rho} \cdot G^2 \qquad (3)$$

Энд: λ – гидравликийн үрэлтийн коэффициент, d – хоолойн дотоод диаметр, м; ρ – усны хувийн жин, кг/м3; G – дулаан зөөх биеийн массын зарцуулалт, кг/с.

Шугам хоолойд урсах усны урсгалын чиглэл ба хурдыг өөрчлөх элементүүд тухайлбал: хаалт, булан тохой, компенсатор, диаметрийн шилжилт гэх мэт дээр унах даралтыг байршлын эсэргүүцлийн даралтын уналт гэнэ. Даралтын уналтыг тодорхойлохын тулд байршлын эсэргүүцэл бүрийн коэффициентыг мэдэх хэрэгтэй.

$$\Delta P_{б.э} = \sum \xi \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2} = 0.812 \cdot \sum \xi \cdot \frac{G^2}{\rho \cdot d^4} \qquad (4)$$

Энд: ξ – тухайн хэсэг дээр байрлах байршлын гидравлик эсэргүүцлүүдийн коэффициент.

Шугамын тухайн хэсгийн сүлжээний усны даралтын нийт уналтын хэмжээг олно.

$$\Delta H = \frac{\Delta P_{ш}}{\rho \cdot g}, \quad \Delta H = \frac{P_{б.э}}{\rho \cdot g}, \text{ му.б} \qquad (5)$$

Энд: g – чөлөөт уналтын хурдатгал, g=9.81 м/с^2.

Гидравлик горимын тооцоог хийхийн тулд хэрэглэгч бүрийн дулаацуулга, хэрэгцээний халуун ус, агааржуулалтын дулааны тооцоот ачаалал, шугам сүлжээний схем, шугамын трасс, дулааны сүлжээний хэсгийн урт, хэсгийн тоо, байршлын эсэргүүцлүүд (хаалт арматур, компенсаторууд, булан, урсгал салаалсан ба нийлсэн зэрэг бүх байршлын эсэргүүцлүүдийн тоо) тоноглолын байрлал, хэрэглэгч ба эх үүсгүүрүүд дээрх шаардлагат түрэлтүүд, эх үүсгүүрийн температурын график, барилгын өндөр, дулааны сүлжээний узелүүд (уулзвар) дээрх геодезийн өндрүүд зайлшгүй өгөгдсөн байх бөгөөд тооцооны анхдагч мэдээлэл цуглуулах явцад эдгээрийг заавал тодруулж бэлтгэнэ6 [5], [6]

“ZuluThermo-8.0” программ нь – дулааны шугам сүлжээний гидравлик тооцооллын багц программ бөгөөд дулааны шугам сүлжээний тохируулгын тооцоо, дулааны сүлжээг шалгах тооцоо, дулааны сүлжээний тохируулга, дулааны сүлжээний зураг төслийн тооцоо, эх үүсвэрт шаардагдах температурын тооцоо, халаалтын системийн найдвартай ажлын тооцоо, ажил солих, сүлжээний зурвасын өргөний нөөцийн тооцоо, тусгаарлалтын дулаан алдагдлыг тооцоолох, Термограммын шинжилгээ, нэвчилт ба сосогийг олох, Пьезометрийн график байгуулах, технологийн схемийг барих зэрэг ажлыг гүйцэтгэдэг[6].

III. СУДАЛГААНЫ ТООЦООЛЛЫН ОБЪЕКТ БА ТООЦООНЫ ҮР ДҮНГИЙН ХАРЬЦУУЛАЛТ

Улаанбаатар хот, Хан-Уул дүүрэг, 23 дугаар хороо, Арцатын аманд байрлах “Монпластик солюшн” хязгаарлагдмал хариуцлагатай компаний 9 давхар 6 ширхэг орон сууцны хорооллыг судалгааны объектоор сонгож авав.

1.32 Гкал/ц ачаалалтай ус дулаан дамжуулах төвийн мэдээлэл

УДДТ-ЫН ҮНДСЭН ТООЦООНЫ МЭДЭЭЛЭЛ

1-Р ХҮСНЭГТ

1	Байршлын нэр:	“Монпластик солюшн” ХХК	
2	Эх үүсвэр, магистраль шугамын дугаар:		ДЦС-4, 10ж
3	Үндсэн мэдээлэл:	Халаалт /ГКал/ц/	0.84
		Хэрэглээний халуун ус /ГКал/ц/	0.48
		Температурын график /ºС/	120/70
4	Хэрэглэг-чийн мэдээлэл:	Зангилаа /узель/-ын тоо	6
		Айл өрх /м^2/	6327

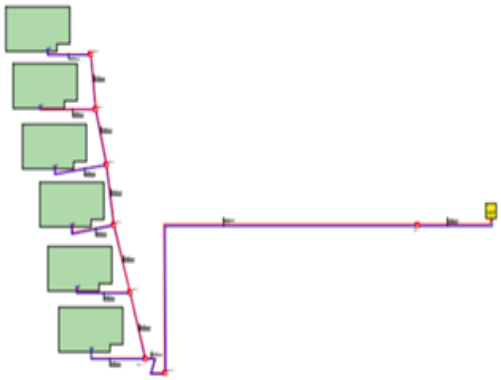
Нийт 1.32 гкал/ц ачаалалтай УДДТ-ийн горим тохируулгын тооцоог гараар хийж гүйцэтгэв.

ГАР ТООЦООЛЛЫН ҮР ДҮН

2-Р ХҮСНЭГТ

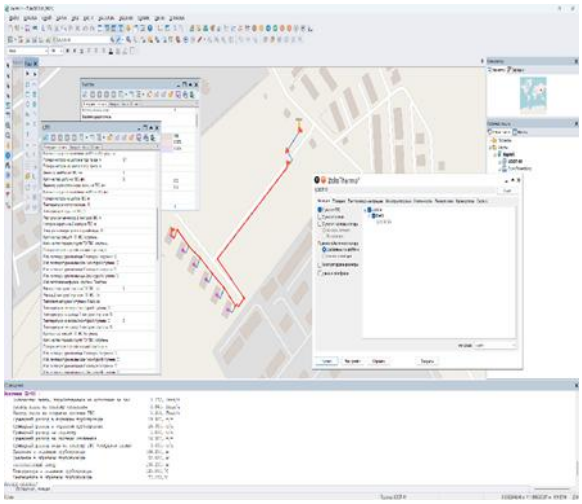
Тооцооны цэг	Qхал (Гкал/ц)	Qхху (Гкал/ц)	Gхал (тн/ц)	Gхху (тн/ц)	Gнийт (тн/ц)	G (кг/с)	d (м)	l (м)	Rш (Па/м)	Рш (Па)
ДХ8	0.84	0.18	-	-	21.3	5.92	0.1	40	85.36	3414.2
ДХ7	-	-	-	-	21.3	5.92	0.1	241	85.36	20562.0
ДХ6	-	-	-	-	21.3	5.92	0.1	20	85.36	1707.1
ДХ5	-	-	-	-	17.8	4.93	0.09	30.4	103.06	3133.1
ДХ4	-	-	-	-	14.2	3.94	0.07	28.5	246.76	7032.8
ДХ3	-	-	-	-	10.7	2.96	0.07	30.5	204.82	6247.0
ДХ2	-	-	5.6	-	7.1	1.97	0.06	30.4	218.82	6652.1
ДХ1	-	-	2.8	0.75	3.55	0.99	0.04	46.8	291.15	13625.7
6	0.14	0.03	2.8	0.75	3.55	0.99	0.04	15.5	291.15	4512.8
5	0.14	0.03	2.8	0.75	3.55	0.99	0.04	16.8	291.15	4891.3
4	0.14	0.03	2.8	0.75	3.55	0.99	0.04	16.4	291.15	4774.8
3	0.14	0.03	2.8	0.75	3.55	0.99	0.04	13.9	291.15	4046.9
2	0.14	0.03	2.8	0.75	3.55	0.99	0.04	14.2	291.15	4134.3
1	0.14	0.03	2.8	0.75	3.55	0.99	0.04	14.4	291.15	4192.5

Тооцооны цэг	**Hi (м.у.б)**	**2H (м)**	**Hk (м)**	**Hр (м)**	**Hөгөх (м)**	**Hбуц (м)**	**Hр (м)**	**Zy (м)**	**Hөгөх (м)**	**Hбуц (м)**	**Hр (м)**
ДХ8	0.36	0.71	0.71	29.29	49.64	20.36	29.29	0.00	49.64	20.36	29.29
ДХ7	2.15	4.30	5.01	24.99	47.49	22.51	24.99	0.50	46.99	22.01	24.99
ДХ6	0.18	0.36	5.37	24.63	47.31	22.69	24.63	0.70	46.61	21.99	24.63
ДХ5	0.33	0.66	6.03	23.97	46.99	23.01	23.97	0.88	46.11	22.13	23.97
ДХ4	0.74	1.47	7.50	22.50	46.25	23.75	22.50	0.45	45.80	23.30	22.50
ДХ3	0.65	1.31	8.80	21.20	45.60	24.40	21.20	0.33	45.27	24.07	21.20
ДХ2	0.70	1.39	10.19	19.81	44.90	25.10	19.81	0.14	44.76	24.96	19.81
ДХ1	1.42	2.85	13.04	**16.96**	43.48	26.52	**16.96**	0.00	43.48	26.52	**16.96**
6	0.47	0.94	13.99	16.01	43.01	26.99	16.01	0.80	43.81	27.79	16.01
5	0.51	1.02	11.22	18.78	44.39	25.61	18.78	0.50	44.89	26.11	18.78
4	0.50	1.00	9.80	20.20	45.10	24.90	20.20	0.20	45.30	25.10	20.20
3	0.42	0.85	8.34	21.66	45.83	24.17	21.66	0.00	45.83	24.17	21.66
2	0.43	0.86	6.89	23.11	46.55	23.45	23.11	0.13	46.42	23.32	23.11
1	0.44	0.88	6.25	23.75	46.88	23.12	23.75	0.13	46.75	22.99	23.75

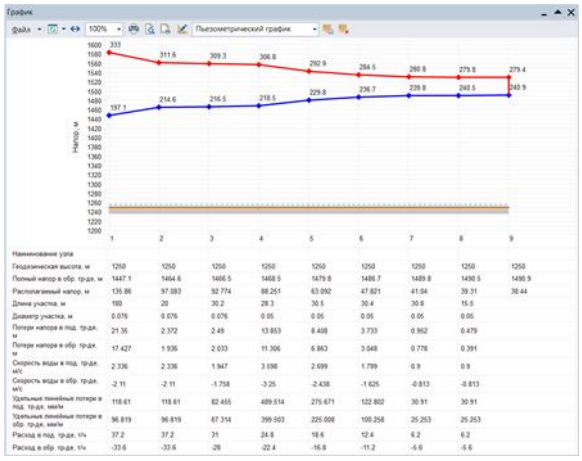


7-р зураг. Хэрэглэгчийн схем

“ZuluThermo-8.0” программаар тооцоолов.



8-р зураг. Программ хангамжийн үр дүн



9-р зураг. Пьезометрийн график

Гар тооцооллоор усны зарцуулалт 21.3 тн/ц, программ хангамжаар усны зарцуулалт 19.98 тн/ц тус тус гарсан байна.

Төгсгөлийн хэрэглэгч дээр даралтын зөрүү 16.96 м байна. Эцсийн хэрэглэгч дээр даралтын зөрүү их байгаа нь байршлын эсэргүүцлийн коэффициентын утгаас хамаарч байна.

IV. ДҮГНЭЛТ

Дулаан хангамжийн системийн горим, тохируулгын тооцоог “ZulThermo-8.0” программ хангамж ашиглаж тооцох нь гар тооцоолол хийснээс хол зөрүүгүй гарсан.

Программ хангамж ашиглаж тооцоолол хийх нь механик гарын авлагын үйлдлүүдийг багасгах, судалгаа, тооцоололд зарцуулах хугацааг багасгах, үр дүнгийн чанарыг сайжруулах, инженер техникийн ажилтнуудын ажлыг хөнгөвчлөх зэрэг давуу талуудтай юм.

Мөн дулааны сүлжээ өргөтгөх, нэмж хэрэглэгч холбосон тохиолдолд программ хангамжаар тооцоолол хийхэд мэдээллийн бааз үүссэн байдаг учир давтан тооцоолол хийхэд маш хялбар байдаг.

Дараагийн давуу тал бол инженер техникийн ажилтанд тухайн температурын гормын үед буюу бодит нөхцөлд тооцоолол хийж хэрэглэгч бүр дээрх даралтын зөрүү буюу дулаанаар бүрэн хангаж чадаж байна уу гэдгийг тухайн нөхцөлд тооцоолж дүгнэлт хийх боломжтой байдгаараа гар тооцооллоос давуу талтай юм. Өөрөөр хэлбэл зөвхөн статик тооцооллоос гадна динамик тооцооллыг хийж болно гэсэн үг юм.

V. АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] О.Пүрэвжал, “Дулаан хангамжийн системийн дулааны ба гидравлик горим”, 2023 он

[2] Г.Баярсайхан, Л.Батмэнд, Т.Алтангэрэл, Г.Отгонбаяр, Э.Амарсанаа, Ц.Бат-Эрдэнэ, Т.Сандагдорж, “Улаанбаатар хотын дулаан хангамжийн системийн гидравлик горимыг тооцоолох программ хангамж”, 2023 он

[3] VALTEC.PRG.3.1.3. Дулааны инженерийн болон гидравлик тооцооллын программ, гарын авлага, https://valtec.ru/document/calculate/

[4] Цагариг болон гацсан шугам хоолойн гидравлик тооцооллын программ, https://pipecalc.ru/ru/

[5] Д.Бямба-Очир, “Дулаан хангамжийн тохируулга зүгшрүүлэг”, № 76, 2014

[6] Б.Намхайням, “Дулаан хангамжийн систем”, № 159, 2015 он

[7] “Zulu Thermo-8.0” программын гарын авлага, https://www.politerm.com/products /thermo/zuluthermo/

ШИЛЭН ПАССАТ БҮХИЙ ҮЙЛЧИЛГЭЭНИЙ БАРИЛГЫН ДУЛААН АЛДАЛТЫГ БУУРУУЛАХ ЗАМААР ДУЛААНЫ ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ ХЭМНЭЛТ ХИЙХ БОЛОМЖИЙН СУДАЛГАА

Наранбаатарын ЭНХМАНЛАЙ[1*], Пашкагийн БЯМБАЦОГТ[1],
Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Дулааны инженерийн салбар
**Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: Mg_cl99@yahoo.com*

Хураангуй: **Барилгын хийцлэл, хэв хашмал, цонхны дулаалга муу хийгдсэнээс үүдэн барилга хүйтний урилалд их хэмжээний дулаан алдаж түүнийг даган тухайн барилга байгууламжийг халааж буй халаах хэрэгслүүд, тоног төхөөрөмжүүдийн ачаалал нэмэгдэн дулаан цахилгааны эрчим хүчний хэргэлээ өсдөг. Үүнээс үүдэн хэд хэдэн хүндрэлүүд гардаг бөгөөд түүний нэг нь тухайн барилгын ЭХ-ний хэргэлээ нэмэгдэх, ААН-ийн хувьд санхүүгийн томоохон хүндрэл үүсдэг. Эрчим хүч хэмнэх олон боломжийн хамгийн үр өгөөж өндөртэй хувилбар нь барилгын дулааны алдагдлыг багасгах явдал юм.**

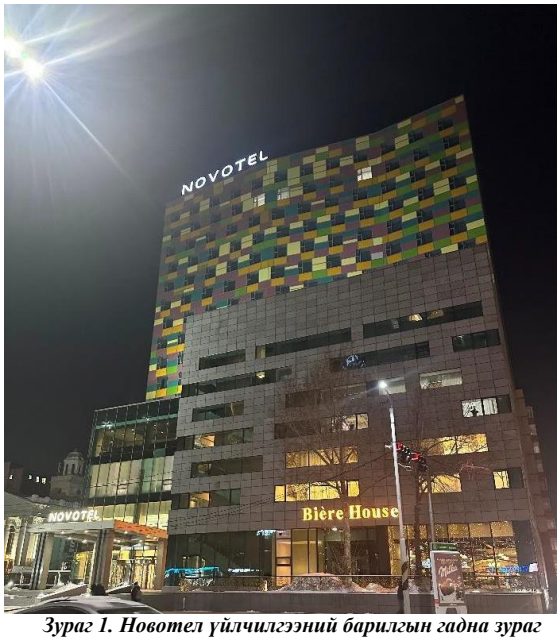
Түлхүүр үгд: Дулааны ачаалал, Дулааны алдагдал тодорхойлох Хаших хийц, Дулаан алдагдлын тооцоо, Эрчим хүчний хэмнэлт

I. УДИРТГАЛ

Дулаан болон цахилгааны хэрэглээ нь үйлдвэрлэлтэйгээ нэгэн зэрэг тасралтгүй үргэлжлэх процесс бөгөөд тухайн агшинд үйлдвэрлэж, түгээсэн эрчим хүчийг шууд хэрэглэдэг. Энэ нь эрчим хүчний салбарын нэг онцлог бөгөөд бусад салбаруудыг бодвол нөөцөлж, хадгалах боломжгүйгээрээ ялгаатай. Улаанбаатар хот нь бусад орны нийслэлтэй харьцуулахад хамгийн хүйтэн гадна агаарын тооцоот температур (-39)°C ба зарим үед (-45)°C хүртэл хүйтэрдэг энэ үед Монгол улсын эрчим хүчний хамгийн их ачаалалтай үе байдаг[2]. Дулаан дамжих процесс нь температурын зөрүүнээс үүсдэг бөгөөд өндөр температуртай биеэс нам температуртай биед дулаан аажмаар шилжих процесс явагддаг. Эндээс дотор болон гадна агаарын температурын зөрүү их байх тусам дулааны ачаалал төдий хэмжээгээрээ их байх боломжтой нь харагдаж байна. Өөрөөр хэлбэл дулааны ачаалал нь алдагдалтайгаа тэнцүү байх бөгөөд хэдий хэмжээгээр дулаан алдагдаж байна төдий хэмжээгээр дулааны эрчим хүчээр хангах шаардлагатай болдог. Иймээс бид барилга доторх агаарын температурыг тогтмол байлгахын тулд дулаан алдагдал ихтэй барилгуудыг дулаалах замаар эрчим хүч хэмнэх боломжтой[1]. Эрчим хүчийг хэмнэснээр санхүү эдийн засгийн хувьд хэмнэлттэй, эрчим хүчний ачааллыг тодорхой хэмжээнд буулгах, Нөгөө талаар эрчим хүч үйлдвэрлэлээс үүсэх байгаль орчинд сөргөөр нөлөөлөх, хүлэмжийн хийн ялгарлыг багасгах хувь хүн ААН-ийн тодорхой хэмжээний үүрэг оролцоо юм.

II. СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН ОБЪЕКТ

Судалгааны объектын хувьд хаших хийцийг бүрэн дулаалсан 16 давхар нийт 4 ресторан, - 2 хурлын танхим 192 буудлын өрөө зэрэг зочид буудлын цогцолбор барилга бөгөөд халаалт, агаар сэлгэлт, хэрэгцээний халуун хүйтэн усыг түгээх хүчин чадалтай хэрэгцээний бойлер, өргөлтийн насос, давтамж, хувьсгуур, бусад тоноглолоос бүрдсэн объект юм.



Зураг 1. Новотел үйлчилгээний барилгын гадна зураг

III. БАРИЛГЫН ДУЛААН АЛДАГДЛЫГ ТОДОРХОЙЛОХ

Дулаан хангамжийн системийн найдвартай ажиллагаа, хүмүүсийн тав тухыг хангахын тулд барилгын дулааны алдагдлыг норм дүрмийн дагуу нарийн тооцох шаардлагатай. Барилгын дулаан хамгаалалтын гадна гадаргуу (нийт гадна хашлага бүтээц) нь дараах шаардлагыг хангасан байх ёстой. Үүнд:

а) хашлага бүтээцийн дулаан дамжуулалтын эсэргүүцэл нь эрчим хүч хэмнэлтийн нормчилсон утгаас багагүй байх (хэмнэлтийн шаардлага);

б) барилгын дулаан дамжуулалтын хувийн үзүүлэлт нь нормчилсон утгаас ихгүй байх (ерөнхий шаардлага);

в) хашлага бүтээцийн дотор гадаргуугийн температур нь зөвшөөрөгдөх хамгийн бага утгаас

багагүй байх (эрүүл ахуйн шаардлага). Дээр дурдсан а, б, в шаардлага бүрийг биелүүлснээр барилгын дулаан хамгаалалтын шаардлагыг хангана [3].

Дулаан дамжуулах процесс нь дулаан нэвтрүүлэлт, конвекцын ба цацруулалтын гэсэн гурван үндсэн үзүүлэлтээр явагддаг. Үүнд:

1. Дулаан нэвтрүүлэлт: биеийг бүрэлдүүлж байгаа жижиг хэсгүүд хооронд дулаан зөөгдөх процесс юм.
2. Конвекци нь хий ба шингэний харилан адилгүй температуртай хэсгүүд хоорондоо шилжин холилдох урсгалаар дулаан зөөгдөх процесс юм.
3. Цацруулалтын дулаан солилцоо их температуртай биеэс цахилгаан соронзон долгионы хэлбэрээр цацарсан дулааны энерги бага температуртай биеийн гадаргуугаар шингээгдэн биеийн хооронд дулаан солилцох үзэгдэл юм.

Монгол улсын стандарт БНбД 23-02-09 Барилгын дулаан хамгаалалт. Уг стандартын хамрах хүрээ нь: Барилгын дотор агаарын тодорхой дулаан, чийглэгийг барьж байх шаардлагатай орон сууц, олон нийт, үйлдвэр, хөдөө аж ахуй, агуулахын барилгын дулааны хамгаалалтад мөрдөнө. Энэ стандартад хашлага хийцийн дулааны эсэргүүцлийг тодорхойлсон байдаг.

Монгол улсын стандарт БНбД 23-02-09 –д заасан Орон сууц болон түгээмэл олон нийтийн барилгын хана, барилгын хийцүүдийн дулааны эсэргүүцлийн үзүүлэлтүүд:

Дулааны эсэргүүцэл:

Хана -0.26 м^2.С/Вт

Цонх – 1.49 m^2·С/ Вт27

Дээвэр – 0.175 м^2 С/ Вт

Шал - 5.5 м^2.С/ Вт

Герман болон Европын холбооны улсуудын энэ чиглэлийн тодорхой норм, стандарт нь маш тодорхой хэрэглэгчид нийцсэн байна. Нэгж халааж буй талбайд шаардлагатай эрчим хүчний хэмжээг төлбөр төлдөг нэгж (Вт ц / м^2 жил)-ээр нь илэрхийлэн заасан байх ба хязгаарлалт нь анхдагч эрчим хүчинд хамааруулж зааснаар сэргээгдэх эрчим хүчийг дэмжсэн бодлоготой нь нийцсэн байна.

IV. СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН ОБЪЕКТЫН ХАШИХ ХИЙЦИЙН ДУЛААН АЛДАГДЛЫН ХЭМЖЭЭ

Энэхүү шинжилгээг бид FLIR брэндийн MSX технологийн багажаар гадаргуун байдлыг шинжилж, агаарын температур хэмжигч термометрээр агаарын урсгалыг тодорхойлон шинжлэв.

ДАВХАР БҮРИЙН ӨРӨӨНҮҮДИЙН ДУНДАЖ ТЕМПЕРАТУР БОЛОН ХАРЬЦАНГУЙ ЧИЙГШЛИЙН ХҮСНЭГТ

1-Р ХҮСНЭГТ

Давхар	*Харьцангуй чийгшил*	*Агаарын температур*
1	*21.9%*	*+20.9°C*
3	*28.4%*	*+23.3° C*
4	*19.8%*	*+19.2° C*
6	*19.2%*	*+15.3° C*
7	*19.9%*	*+18.6° C*
8	*20.8%*	*+20.0°C*
9	*18.3%*	*+20.5°C*
10	*19.7%*	*+20.1°C*
11	*19.8%*	*+21.3°C*
12	*20.5%*	*+21.9°C*
13	*20.4%*	*+22.3°C*
14	*22.2%*	*+23.9° C*
15	*22.2%*	*+24.7° C*
16	*23.3%*	*+20.0°C*
Дундаж	*20.5%*	*+20.5° C*

Давхар бүрээс түүвэрлэсэн өрөөнүүдийн дундаж температур болон чийгшлээс харахад 4-7 давхрын өрөөний температур хамгийн бага буюу +15,3 градусаас +19,2 градусын хооронд байна. Хамгийн дулаан давхар нь 3, 14, 15 давхар байгаа бөгөөд ерөнхий зүй тогтол нь 5-аас дээш давхрууд дээшлэх тусам улам дулаахан болж байна. 3-р давхарт ресторан хоолны хэсэгт нэмэлт халаалт ажиллаж байгаа нь хамгийн дулаан давхрын нэг болж харагдаж байна. Харин дээшлэх тусам дулаан болж байгаа ч 16-р давхарт температур огцом буурч дунджаас бага буюу +20С болж байгаа нь дээврийн дулаан алдагдал нөлөөлж байгааг харуулж байна.

Давхар бүрээс түүвэрлэсэн өрөөнүүдийн дундаж температур болон чийгшлээс харахад 4-7 давхрын өрөөний температур хамгийн бага буюу +15,3 градусаас +19,2 градусын хооронд байна. Хамгийн дулаан давхар нь 3, 14, 15 давхар байгаа бөгөөд ерөнхий зүй тогтол нь 5-аас дээш давхрууд дээшлэх тусам улам дулаахан болж байна. 3-р давхарт ресторан хоолны хэсэгт нэмэлт халаалт ажиллаж байгаа нь хамгийн дулаан давхрын нэг болж харагдаж байна. Харин дээшлэх тусам дулаан болж байгаа ч 16-р давхарт температур огцом буурч дунджаас бага буюу +20С 20С болж байгаа нь дээврийн дулаан алдагдал нөлөөлж байгааг харуулж байна.

БАРИЛГЫН ХАШИХ ХИЙЦҮҮДИЙН ДУНДАЖ ТЕМПЕРАТУР

2-Р ХҮСНЭГТ

Хаших хийцүүд	Нийт	
	Талбай /м²/	Дундаж температур /°С/
Цонхны төмөр Рам	25	-1.3
Төмөр рамтай Цонх	1000	6.0
Цонхны хуванцар Рам	28.8	7.4
Төмөр рамтай фасадны Хана	2000	10.7
Хуванцар рамтай Цонх	1152	13.0
16 давхрын Дээвэр	1030	16.9
4 давхрын Дээвэр	780	18.0
Чулуун фасадтай Хана	6044	18.9
НИЙТ	12059.8	11.2

V. ДУЛААН АЛДАГДЛЫН ТООЦОО

Хаших хийцүүдийн дулаан эсэргүүцлийг (томьёо 1)-ээр тооцоолж дулаан алдагдлуудыг тооцоолж хүснэгт 3-д тусгав

Томьёо 1 R=R1*(tд-tr)/(tд-tгадаргуу) (1)

- R1=0.115
- tд=18.6-21.7°C
- tг=-23°C

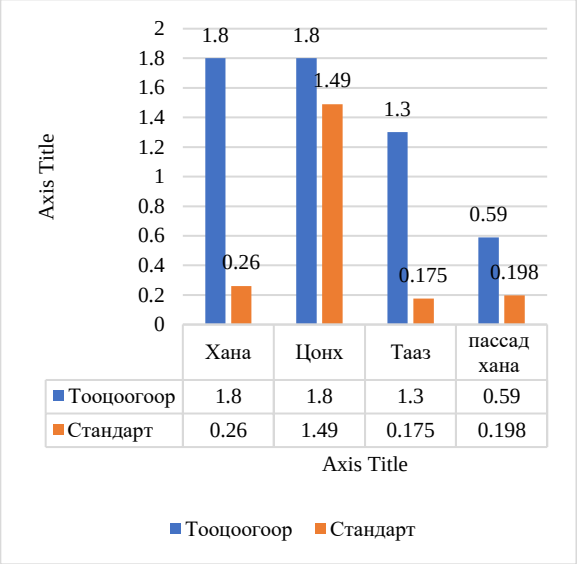
ХАШИХ ХИЙЦҮҮДИЙН ДУЛААН АЛДАГДАЛ

3- Р ХҮСНЭГТ

	Нийт		Хаших хийцийн	Хэстийн дулаан	Нийт талбайн дулаан	Дулаан алдагдлын эзлэх хувь
	Талбай /м²/	Дундаж температур /°С/	R	P	PS	
16 давхрын Дээвэр	1030	17	1.361	2.706	2786.987	2.90%
4 давхрын Дээвэр	780	18	8.124	0.072	56.54187	0.10%
Чулуун фасадтай Хана	6044	19	1.864	1.479	8937.479	9.10%
Төмөр рамтай фасадны Хана	2000	11	0.569	14.968	29936.75	30.60%
Төмөр рамтай Цонх	1000	6	0.369	35.674	35674.29	130.60%
Хуванцар рамтай Цонх	1152	13	0.59	14.759	17002.59	230.60%
Цонхны хуванцар Рам	28.8	7.4	0.36	39.652	1141.966	1.20%
Цонхны төмөр Рам	25	-1.3	0.237	86.44	2160.994	2.20%
НИЙТ	12060	11			97697.6	

Нийт хаших хийцийн талбайн дулаан алдагдлаас хамгийн өндөр дулаан алдагдалтай байгаа 3 хаших хийц нийтдээ 84,5% байна

Орон сууц болон түгээмэл олон нийтийн барилгын хана, дээвэр, шал ба цонхны дулаан дамжуулалтын коэффициентыг тооцож БНбД-25-01-20-д заасан утгатай харьцуулж зураг 2-д үзүүлэв.



2-р зураг. барилгын хаших хийцийн дулаан дамжуулалтын коэффициентын бодит утга

БАРИЛГЫН ХАШИХ ХИЙЦИЙН ТАЛБАЙ

4- Р ХҮСНЭГТ

Хана	Цонх	Дээвэр	Зоорь
8222	2205	1810	1810

Дулаалаагүй барилгын хана, цонх, тааз, шалаар гадна агаарын тооцоот температурын үед алдах дулааны тоо хэмжээг дулаан дамжуулалтын тэгшитгэлээр тодорхойлов.

$$Q_{д}=\sum F_{х}\,°K_{х}°(t_{д}-t_{r}) \quad (2)$$

$$Q_{хана} = 8222 \cdot 1.8 \cdot (18 + 39) = 843.5 \text{ кВт} \quad (3)$$

$$Q_{цонх} = 2205 \cdot 1.8 \cdot (18 + 39) = 226.2 \text{ кВт} \quad (4)$$

$$Q_{Дээвэр} = 1810 \cdot 1.3 \cdot (18 + 39) = 143.1 \text{ кВт} \quad (5)$$

$$Q_{Зоорь} = 1810 \cdot 0.59 \cdot (18 + 39) = 61.1 \text{ кВт} \quad (6)$$

Дулаалаагүй барилгын дулааны тооцоот ачаалал 1273.9 кВт

Барилгын жилийн дулааны алдагдал: (3176 Гкал)

$$Q_{д}^{жил} = \frac{t_{д}^{1} - t_{г.д}^{дун}}{t_{д}^{1} - t_{г.д}^{1}} \cdot Q_{д}^{1} \cdot n_{д} = 0.5 \cdot 1274 \cdot 5800 = 3694 \text{ МВтц} \quad (7)$$

Дулаалсны дараах халаалтын улиралд алдах дулааны хэмжээг БНбД-25-01-20-н стандартын утгаар хаших хийц тус бүр дээр бодож дулааны жилийн хэрэглээг тооцож гаргав

$$Q_{хана} = 8222 \cdot 0.26 \cdot (18 + 39) = 121.8 \text{ кВт} \quad (8)$$

$$Q_{цонх} = 2205 \cdot 1.49 \cdot (18 + 39) = 187.2 \text{ кВт} \quad (9)$$

$$Q_{Дээвэр} = 1810 \cdot 0.175 \cdot (18 + 39) = 18.5 \text{ кВт} \quad (10)$$

$$Q_{Зоорь} = 1810 \cdot 0.198 \cdot (18 + 39) = 20.4 \text{ кВт} \quad (11)$$

Дулаалсан барилгын дулааны тооцоот ачаалал 347.9кВт

$$Q_{д}^{жил} = \frac{t_{д}^{1} - t_{г.д}^{дун}}{t_{д}^{1} - t_{г.д}^{1}} \cdot Q_{д}^{1} \cdot n_{д} =$$

$$Q_{д}^{жил} = 0.5 \cdot 348 \cdot 5800 = 867.9 \frac{\text{Гкал}}{\text{жил}} \text{ буюу } 1009 \text{МВт/ц} \quad (12)$$

Жилийн дулааны эрчим хүчний хэмнэлт,

$$Q_{д}^{жил} = 3176 - 867.9 = 2308 \text{ Гкал} \quad (13)$$

Аж ахуй нэгжээр: 1 Гкал дулаан худалдаж авах үнэ батлагдсан тариф 9314 төгрөг

Нэг жилийн хэмнэлт : 2308Гкал дулаан мөнгөн дүнгээр 2308 Гкал * 9314 = 21,496,712 төг (13)

ДҮГНЭЛТ

Шилэн пассат бүхий үйлчилгээний барилгын дулаан алдагдал PS=97,7КЖ буюу 1-р бүсийн дулаан техникийн тооцооны дагуу нормоос давсан хэмжээтэй байна. Энэ нь барилгын эрчим хүчний үр ашгийн ангиллаар 149% буюу D ангиллын хэмнэлтгүй барилгын хэмжээнд байна. Нийт талбайн дулаан алдагдлаараа 1-т төмөр рамтай цонх 36.5%-ыг эзэлж байна. Төмөр рамтай буюу шилэн фасадтай хананы цонхны дулаан алдагдал хүлцэх хэмжээнээс 2 дахин өндөр байгаа нь урд өрөөнүүд хүйтэн байгаагийн шалтгаан болж байна.

Шийдвэрлэх: Шилэн пассатны цонхыг сайжруулах, давхар цонх хийх аргаар дулаан дамжуулалтыг бууруулах.

Нийт талбайн дулаан алдагдлаар 2-т шилэн фасадны хана 30.6%-ыг эзэлж байна. Урд нүүрний хананы дулаан алдагдал хамгийн өндөр байгаа нь битүүмж муутай дулаалсан байгааг харуулж байна. Хана, цонх зэргээр хүйтэн сийгж мэдэгдэж байна.

1. БНбД-25-01-20 стандартын шаардлагад нийцүүлэн дулаалсан тохиолдолд хаших хийцээр алдах дулаан алдагдлын хэмжээ тооцоогоор 60 хувь буурч байна.
2. Шилэн пассат бүхий үйлчилгээний барилгын дулааны алдагдал одоо мөрдөж буй стандартын утгаас 2.6 дахин их байна. Стандартын түвшинд хүртэл дулаалбал дулааны ачаалал 2685 МВт-аар буурах болно.
3. Мөн жилд 21,496,712 сая төгрөгийн дулааны эрчим хүчийг хэмнэснээр сайжруулалт шаардсан хөрөнгө оруулалтын нөхөн олох боломжтой юм.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] Н.Ангараг, Орон сууцны барилгын дулааны эрчим хүчийг хэмнэх боломжийн судалгаа, 2007 он

[2] О.Батмөнх, Орон сууцны хаших хийцийн дулаан алдагдлын судалгаа, 2013 он

[3] С.Давааням, Угсармал орон сууцны дулаан техникийн шинэчлэлийн судалгаа, 2020 он

[4] Барилгын норм ба дүрэм, “Барилгын дулаан хамгаалал”, х. 5-6, [БНбД 25 − 01 − 20], Улаанбаатар, 2020.

[5] “ЭРДМИЙН ЧУУЛГАН 2023” бакалавр, магистр, доктор оюутны эрдэм шинжилгээний бага хурал №23(06)312 Улаанбаатар хот 2023.03.10

[6] http://www.pes.edu.mn/media/uploads/2023/04/21/2023-1.p

ТАРХМАЛ НАРНЫ ЦАХИЛГААН ҮҮСГҮҮРИЙН БАЙРЛАЛ БОЛОН НЭВТРҮҮЛЭЛТИЙН ТҮВШИН НЬ ТҮГЭЭХ СҮЛЖЭЭНИЙ ГОРИМД ҮЗҮҮЛЭХ НӨЛӨӨЛӨЛ

Хүрэлтогоогийн ХУЛАН[1,3], Мөнхбаатарын ЭРДЭНЭТУЯА[1,3], Дагдангийн НЭМЭХБАЯР[1,2], Эрдэнэбатын ЭНХСАЙХАН[1*]

[1]Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Цахилгааны инженерийн салбар, Шинэ, сэргээгдэх эрчим хүчний салбар

[2]Монгол улс, Улаанбаатар, ЦДҮС ТӨХК, Улаанбаатар салбар, Инженерийн алба

[3]Монгол улс, Улаанбаатар, УБЦТС ТӨХК, Мэдээлэл лавлагааны алба

**Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: Xla1029@gmail.com, Enkhsaikhan@must.edu.mn*

Хураангуй: **Монгол улсын цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээ жил бүр өсөн нэмэгдэхийн хэрээр эрчим хүчний эх үүсвэрийн дутагдал улам бүр өссөөр байна. Олон улсад одоогийн уламжлалт түлшний эх үүсвэрээс татгалзах хандлагатай байгаа нь дэлхийн дулаарал, хүлэмжийн хийн ялгарлыг бууруулах зорилготой бөгөөд цэвэр эрчим хүчний технологийг сүүлийн жилүүдэд илүү хөгжүүлэх үндэс болж байна. Олон улсад сэргээгдэх эрчим хүчний олон төрлийн эх үүсвэрийн технологи хөгжүүлж байгаагаас нарны эрчим хүчийг ашиглах технологи илүү өргөн хүрээтэй судлагдаж, хөгжсөн бөгөөд нэгжийн хөрөнгө оруулалт бага болсон байна. Монгол улс нь нарны эрчим хүчний арвин их нөөцтэй бөгөөд цахилгаан эрчим хүчний хэрэглэгч өргөн уудам газар нутагт тархан байрласан байдаг онцлогт тулгуурлан тархмал байдлаар хөгжүүлэх нь олон талын ач холбогдолтой юм. Энэхүү өгүүлэлд бид бага чадлын нарны цахилгаан үүсгүүр цахилгаан түгээх сүлжээнд холбогдох байрлал болон нэвтрүүлэлтийн түвшин түүний горимд үзүүлэх нөлөөллийг судалсан болно. Энэхүү судалгаанд нарны нөөц ихтэй Дорноговь аймгийн Сайхандулаан сумыг сонгон авсан болно. Тус сум нь Багануур Зүүн-Өмнөд бүсийн цахилгаан түгээх сүлжээ ТӨХК-ийн харьяа Дорноговь салбарын Өвөршанд дэд станцаас 15 кВ-ын хүчдэлтэй фидерээр холбогддог бөгөөд цахилгаан дамжуулах шугам стандарт уртаас 4-5 дахин урт үргэлжилсэн байгаа нь нэвтрүүлэх чадал багатай, чадлын алдагдал их, хүчдэлийн чанар муу сүлжээний нэг болсон байна. Уг сүлжээнд нарны тархмал эх үүсгүүрийн тохиромжтой байршил, нэвтрүүлэлтийн түвшнийг тодорхойлсон болно. Тус судалгаанд Герман улсын Дигсайлент компаний Поверфактори симуляцийн программыг ашигласан болно.**

Түлхүүр үг: Тархмал эх үүсвэр, Мини сүлжээ, Нарны цахилгаан үүсгүүр, Нарны систем, Тогтсон горим, Чадлын алдагдал, Хүчдэлийн хазайлт.

I. УДИРТГАЛ

Олон улсад цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээ өсөхийн хэрээр цахилгаан эрчим хүчний үйлдвэрлэлийн хүчин чадал эрс нэмэгдсээр байна. Мөн цахилгаан эрчим хүчний эх үүсвэрүүд хэрэглэгчээс ачааллын төвөөс хол байрладаг учраас цахилгаан эрчим хүчний алдагдал болон хүчдэлийн уналт их байдаг. Ийм учраас хэрэглэгчийн ачааллын төвүүдийн ойролцоо Тархмал эх үүсвэр (ТЭҮ)-ийг бий болгосноор дээрх асуудлуудыг шийдвэрлэхэд тодорхой хувь нэмэр оруулах боломжтой байна [1]. ТЭҮ-ийн технологи гэдэг нь бага чадлын хийн турбин, дулааны станц, хосолсон циклийн хийн турбин, дотоод шаталтат хөдөлгүүр, салхин турбин, микро-турбин, түлшний элемент, нарны панель болон бага чадлын усан цахилгаан станц юм [2].

Дэд бүтэц, үйлдвэрлэл, худалдааны салбар өргөн тархаж байгаатай холбоотойгоор дэлхий даяар цахилгаан системийн ачааллын эрэлт хэрэгцээ өдрөөс өдөрт нэмэгдэж байна. Үүнээс үүдэн цахилгаан хангамж найдвартай, чанартай байх, ачааллыг хангах, гэмтлийн түвшин, түгээх шугамын засварын насжилт буурах зэрэг олон бэрхшээлтэй тулгардаг. Тархмал үүсгүүрийг түгээх сүлжээнд нэвтрүүлснээр эрчим хүчний алдагдлыг бууруулах , хүчдэлийн хазайлтыг сайжруулах, хүчдэлийн уналтыг бууруулах, хүчдэлийн тогтвортой байдлыг сайжруулах, засвар үйлчилгээний нийт зардлыг багасгах, системийн өргөтгөлийг хойшлуулах зэрэг олон давуу талуудыг хэрэглэгчид болон үйлчилгээ үзүүлэгчдэд өгдөг. Гэхдээ тархмал үүсгүүрийг нэвтрүүлэх нь системийн үр дүнг сайжруулна гэсэн баталгаа биш бөгөөд тархмал үүсгүүрийн байрлал, үнэлгээг зөв тодорхойлохгүй бол системийн гүйцэтгэлд нөлөөлж болно. Иймээс ТЭҮ-н зөв байрлал, үнэлгээ маш чухал үүрэг гүйцэтгэдэг [3].

Цахилгаан түгээх сүлжээнд ТЭҮ нэгжүүдийг нэгтгэх нь хүчдэлийн хазайлт, эрчим хүчний чанар, эрчим хүчний алдагдал, найдваржилт зэрэг үйл ажиллагааны болон төлөвлөлтийн үзүүлэлтүүдэд ихээхэн нөлөө үзүүлдэг бөгөөд эдгээр үр дүн нь ТЭҮ-н төрлөөс ихээхэн хамаардаг. Жишээ нь, инвертер дээр суурилсан ТЭҮ-үүд хүчдэл хянах чадвартай.

Инвертерт суурилсан ТЭҮ-үүдийн чадвар нь хүчдэлийг зохицуулахад идэвхтэй түлхэц болж, сүлжээнээс реактив чадлыг оновчтой удирдах боломжийг олгож байна. Жишээ нь, PV дээр суурилсан ТЭҮ нь зөвхөн цахилгаан сүлжээнд чадал нийлүүлэхээс гадна, системийн хүчдэлийн зохицуулалтыг сайжруулдаг.[4]

II. ТАРХМАЛ ҮҮСГҮҮРИЙН ТЕХНОЛОГИ

Судалгаа, хөгжүүлэлтийн сүүлийн үеийн ахиц дэвшил нь ТЭҮ-ийн технологид чухал үүрэг

гүйцэтгэж, ирээдүйн эрчим хүчний хангамжид ТЭҮ-ийн үүрэг нэмэгдэж байна. Энэ нь ТЭҮ-ийн гүйцэтгэл, найдвартай байдал, уян хатан чанарыг сайжруулж, эрчим хүчний үр ашгийг нэмэгдүүлэх, утаа ялгаруулалтыг бууруулах боломжийг олгодог [5]. ТЭҮ-ийн ойлголтыг судлахад ТЭҮ-ийн тодорхойлолт, технологиуд, хэрэглээ, хэмжээ, байршил, тоо, эдийн засгийн ашиг, ТЭҮ-ийн практик болон үйл ажиллагааны хязгаарлалтууд, мөн түүний системийн ажиллагаа, сүлжээний төлөвлөлтөд үзүүлэх нөлөө зэрэг асуудлууд орно [6], [7]. Одоогийн байдлаар, технологийн болон бүтцийн талаас үзэхэд тархсан генераторууд олон төрлүүд байгаа бөгөөд эдгээр нь уламжлалт болон уламжлалт бус технологиудын хооронд төрөлжиж байна. Уламжлалт бус технологиуд нь дотоод шаталтат хөдөлгүүрүүд, холимог циклууд, шаталтын турбин болон микро турбинүүд зэрэг сэргээгдэх бус эрчим хүчний эх үүсвэрүүдийг агуулдаг. Харин сэргээгдэх технологиуд нь нар , салхи, геотерм, ус, түлшний элемент зэрэг технологиудыг багтаадаг [8]. Нөгөө талаар, ТҮ-үүд нь эргэх төхөөрөмжүүд (синхрон болон асинхрон машин) байж болно, эсвэл эргэх буюу статик төхөөрөмжүүдийг цахилгаан шилжүүлэгчээр холбож сүлжээнд холбож болно [11].

ТЭҮ-ийг IEEE-1547 стандартын дагуу хэрэглээний сүлжээнд холбодог [9]. ТЭҮ-ийг эрчим хүчний түгээх сүлжээнд нэгтгэх нь хүчдэлийн хазайлт, эрчим хүчний чанар, эрчим хүчний алдагдал, найдвартай байдал, хамгаалалтын систем зэрэг үйл ажиллагаа болон төлөвлөлтийн шинж чанаруудад нөлөөлдөг. Эдгээр нөлөөлөл нь ТЭҮ нэгжийн төрөлтэй шууд хамааралтай байдаг. Жишээ нь, инвертерт суурилсан ТЭҮ нэгжүүд нь хүчдэл зохицуулах чадвартай байдаг бөгөөд эдгээр нь системийн гармоник түвшинд синхрон суурилуулсан ТЭҮ-ээс илүү нөлөөлнө. Харин шууд холбогдсон эргэлдэж буй ТЭҮ-ийн нэгжүүд нь хувиргагчтай ТЭҮ нэгжүүдээс хамгаалалтын зохицуулалтад илүү хүчтэй нөлөө үзүүлдэг. Иймээс ТЭҮ технологийн сүлжээнд нэвтрэхдээ ТЭҮ-ийн хэмжээ болон хамгийн тохиромжтой байршлыг тогтоохоос шалтгаалан томоохон сорилтуудыг үүсгэдэг юм [10]. ТЭҮ-ийн эх үүсвэрийг нэгтгэхээс өмнө иж бүрэн шинжилгээ хийх шаардлагатай бөгөөд энэ нь ТЭҮ суурилуулалтын ашиг тусыг ихэсгэж, зардлыг хамгийн бага байлгах шийдлийг олгоход тусална.

Хамгийн тохиромжтой ТЭҮ-ийн байрлал нь сүлжээний гүйцэтгэлийг сайжруулах, хүчдэлийн хазайлтыг сайжруулах, системийн алдагдлыг бууруулах, эрчим хүчний чанар болон найдвартай байдлыг сайжруулах боломжийг олгодог [10]. Тиймээс ТЭҮ байрлуулах асуудал нь сүүлийн 15 жилийн турш олон судалгааны анхаарлыг татсан байна [10]. Хамгийн тохиромжтой ТЭҮ-ийн байрлалд байрлуулах зорилтын функц нь нэг буюу олон зорилготой байж болно. Гол нэг зорилготой функцүүд нь: 1) системийн нийт эрчим хүчний алдагдлыг хамгийн бага байлгах; 2) эрчим хүчний алдагдлыг хамгийн бага байлгах; 3) системийн дундаж тасралт хугацааны индексийг багасгах; 4) зардлыг хамгийн бага байлгах; 5) хүчдэлийн хазайлтыг багасгах; 6) ТЭҮ-ийн чадавхыг дээд зэргээр нэмэгдүүлэх; 7) ашгийг дээд зэргээр дээшлүүлэх; 8) ашиг/зардлын харьцааг дээд зэргээр нэмэгдүүлэх; 9) хүчдэлийн хязгаарын ачааллыг дээд зэргээр нэмэгдүүлэх (эрчим хүчний түгээх сүлжээ бүх төгсгөл дээр хүчдэл хязгаартай байхаар ачаалал нийлүүлэх хамгийн их боломжит ачаалал) [10].

ТЭҮ-ийн нэгжүүдийг хэрэглэгчид эсвэл түгээх компани эзэмшиж болно [11]. Хэрэв ТЭҮ-н суурилуулалт нь түгээх компаний эзэмшилд байвал, түгээх компани ТЭҮ нэгжүүдийн байрлал болон хэмжээний хувьд сүлжээг сайжруулах, найдвартай байдлыг нэмэгдүүлэх зорилгоор хамгийн тохиромжтой төлөвлөлт хийх ёстой [12]. Практик дээр ТЭҮ-ийг оптимизацийн алгоритмын дагуу тогтоосон байршилд суурилуулах боломж үргэлж байдаггүй боловч, энэ нь төлөвлөлтөд ТЭҮ аль байршилд хамгийн их ашиг тустай байж болохыг харуулж өгнө [13]. Хэрэв ТЭҮ нь хэрэглэгчийн эзэмшилд байх бол, түгээх компанийн төлөвлөгч нь хэрэглэгчийн эзэмшилд ТЭҮ суурилуулахтай холбоотой ямар нэгэн техникийн асуудлыг үнэлэх, боломжит судалгааг хийх шаардлагатай [5].

III. ТЭҮ СИСТЕМД ҮЗҮҮЛЭХ НӨЛӨӨ

ТЭҮ нь хэрэглэгч болон цахилгаан ханган нийлүүлэгчдийн хувьд тогтвортой ажиллах, эрчим хүчний чанар, тогтвортой байдал, аюулгүй байдлын хувьд систем болон тоног төхөөрөмжийн үйл ажиллагаанд ихээхэн нөлөө үзүүлдэг. Эдгээр нөлөө нь хангамжийн систем, хуваарилагдсан генератор болон ачааллын шинж чанараас шалтгаалан эерэг болон сөрөг байдлаар илэрч болно [14]

A. ТЭҮ нь хүчдэлийн хазайлтанд үзүүлэх нөлөө

Түгээх сүлжээний хүчдэлийн түвшин тодорхой хэмжээнд байх ёстой [20]. Ямар ч эрчим хүчний системийн шинийн хүчдэлийн нийтээр хүлээн зөвшөөрөгдсөн утга нь нэгж тутамд 0.95-1.05; Энэ нь шинийн хүчдэл нь шинийн номинал хүчдэлийн 95-105%-ийн хооронд байна гэсэн үг [15]. Түгээх сүлжээнд холбогдсон ТЭҮ-үүд нь уламжлалт хэрэглэгддэг зохицуулалтын практикт саад болж болох эрчим хүчний эргэлтийг бий болгодог [15]. Энэ шалтгааны улмаас ТЭҮ-г тохиромжгүй хуваарилах нь сүлжээнд бага эсвэл хэт хүчдэл үүсгэж болно. Нөгөө талаар ТЭҮ суурилуулалт нь реактив нөхөх, хүчдэл хянах, алдагдлыг бууруулах болон бусад боломжуудыг хангаснаар хангамжийн системд эерэг нөлөө үзүүлдэг [16].

B. Чадлын алдагдалд ТЭҮ-ийн нөлөө

Чадлын урсгал нь эрчим хүчний системийн үйл ажиллагаа, төлөвлөлт, аюулгүй байдлын шинжилгээг судлах хамгийн чухал, хамгийн үндсэн хэрэгсэл юм. Уламжлалт түгээх сүлжээн дэх чадлын урсгал нь эх үүсвэрээс хэрэглэгч рүү нэг чиглэлд байдаг. Гэсэн хэдий ч ТЭҮ-г хангамжийн системд нэвтрүүлснээр сүлжээний бүтцийн өөрчлөлтийг тодорхойлох ба нэг чиглэлийн эрчим хүчний урсгалыг бий болгодоггүй (өөрөөр хэлбэл зөвхөн дэд станцын шинээс ачаалал руу биш) [14].

Цахилгаан эрчим хүчний сүлжээний эсэргүүцлээс болж цахилгаан эрчим хүч тасралтгүй алдагддаг бөгөөд цахилгаан дамжуулах системтэй харьцуулахад хангамжийн системийн алдагдал их байдаг [17]. Түүнээс гадна, түгээх систем нь дамжуулах системтэй харьцуулахад R/X-ийн үзүүлэлт өндөр байдгаараа алдартай бөгөөд хүчдэлийн ихээхэн уналт нь цахилгаан дамжуулагчийн дагуу ихээхэн эрчим хүч, эрчим хүчний алдагдалд хүргэдэг [18]. Үүний үр дүнд хангамжийн системийн алдагдлыг бууруулах нь дэлхий даяарх олон цахилгаан эрчим хүчний байгууллагуудад тулгарч байгаа хамгийн том бэрхшээлүүдийн нэг юм. Хэрэв ТҮ-үүдийг зөв байрлуулбал алдагдлыг бууруулах үр дүнтэй арга гэж үзэж болно. Ачааллын төвд ойрхон байдаг учраас ТЭҮ нь ялангуяа хэрэглэгч их ачаалалтай бол шугамын алдагдлыг багасгахад эерэг хувь нэмэр оруулж чадна. Гэвч хэмжээ, байршил нь тохиромжгүй байх нь алдагдлыг нэмэгдүүлж, хүчдэлийн зохицуулалтыг муутгана. [19]. Математик талаас, систем дэх актив чадлын алдагдлыг (1) томьёогоор илэрхийлдэг. Энэ нь өргөн хэрэглэгддэг бөгөөд “нарийн алдагдлын” томьёо гэж нэрлэгддэг [20].

$$P_{алдагдал}=\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}[\alpha_{ij}\left(P_iP_j+Q_iQ_j\right)+\beta_{ij}(Q_iP_j-P_iP_j) \quad (1)$$

Үүнд: $\alpha_{ij}=\frac{r_{ij}}{V_iV_j}\cos(\delta_i-\delta_j)$, $\beta_{ij}=\frac{r_{ij}}{V_iV_j}\sin(\delta_i-\delta_j)$,$r_{ij}+jx_{ij}=Z_{ij}$($Z_{шин}$-ий ij дэх матриц)

Доорх хүснэгтэнд ТЭҮ-ийг актив болон реактив алдагдлыг тэжээх чадвараар нь үндэслэн дөрвөн үндсэн төрлөөр ангилж болно [8]. Энэхүү судалгаанд төрөл 3-ыг ашиглан тооцсон.

ЦАХИЛГААН ХАНГАМЖ ДЭЭР СУУРИЛСАН ТЭҮ-ИЙН ГОЛ ТӨРЛҮҮД

1-Р ХҮСНЭГТ

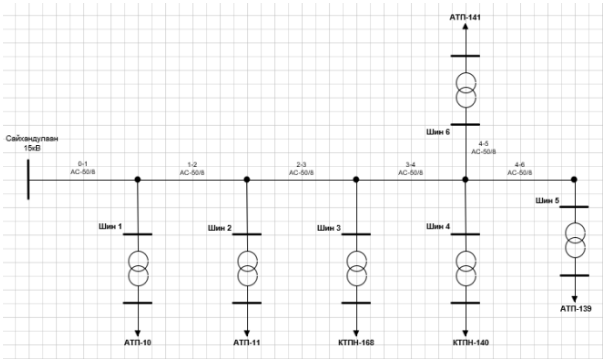
ТЭҮ-ийн төрлүүд	Төрлүүдийн тодорхойлолт	Жишээ
Төрөл 1	ТЭҮ нь актив болон реактив эрчим хүчийг тэжээх чадвартай.	Синхрон генераторууд
Төрөл 2	ТЭҮ нь актив эрчим хүчийг тэжээх чадвартай боловч реактив эрчим хүчийг хэрэглэдэг.	Индукцийн генераторууд, жишээ нь, салхины цахилгаан станцууд
Төрөл 3	ТЭҮ нь зөвхөн актив эрчим хүчийг тэжээх чадвартай.	PV, микро турбинүүд болон түлшний эсүүд гол сүлжээнд хөрвүүлэгч/ инвертерүүдтэй холбогдсон
Төрөл 4	ТЭҮ нь зөвхөн реактив эрчим хүчийг тэжээх чадвартай.	Синхрон компенсацийн төхөөрөмжүүд

ТЭҮ-үүдийн хүчин чадлын системийн үйл ажиллагаанд үзүүлэх нөлөөг судлахын тулд, нэвтрүүлэлтийн түвшний (НТ) параметрийг ТЭҮ-ээс гарах ($\sum S_{ТҮ}$) нийт эрчим хүчний үйлдвэрлэл болон эрчим хүчний оргил ачааллын ($\sum S_{ОА}$) харьцуулалт дээр тодорхойлно. Үүнийг дараах байдлаар тооцоолох боломжтой [6]:

$$НТ=\frac{\sum S_{ТҮ}}{\sum S_{ОА}}*100\% \quad (2)$$

IV. СУДАЛГААНЫ АЖИЛ

Зураг1-д 15кВ-н уламжлалт сүлжээг үзүүлэв.



1-р зураг. Түгээх сүлжээний схем зураг

АНХДАГЧ ӨГӨГДӨЛ

2-Р ХҮСНЭГТ

Шин дугаар	Дэд станц	S, кВА	Cosφ
1	АТП-10	69.24	0.99
2	АТП-11	52.2	0.99
3	КТПН-168	5.26	0.86
4	КТПН-140	76.3	0.97
5	АТП-139	132.1	0.87
6	АТП-141	31.23	0.98

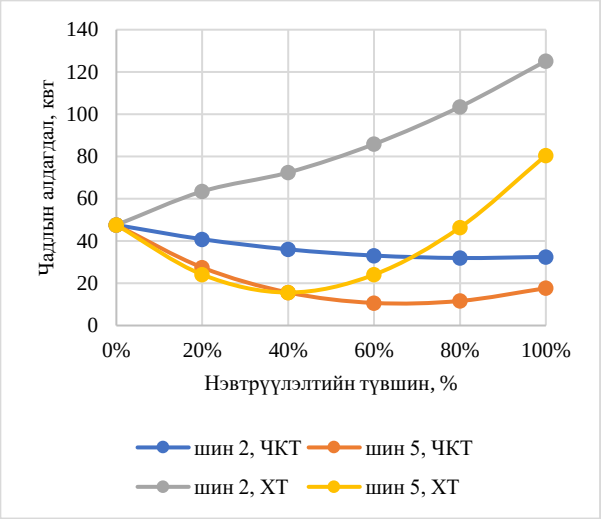
Уг сүлжээнд 2024 оны өвлийн их ачааллын хэмжилт хийгдсэн тул power factor программ ашиглаж горимын тооцоог хийсэн. Горимын тооцоонд хүчдэлийн харьцангуй нэгж 0,99 p.u, нийт чадлын алдагдал 18,69кВт байгаа бөгөөд одоогийн тохиолдолд горим хэвийн. Харин уг фидерийн ачаалал 50% өссөний дараа хүчдэлийн харьцангуй нэгж 0,94 p.u, нийт чадлын алдагдал 47,57кВт байх бөгөөд тогтсон горим алдагдаж эхэлж байгаа юм. Уг горимын үед шин 2 болон 5 дээр нарны тархмал үүсгүүр залгаж загварчилъя. Нарны үүсгүүрийг залгахдаа шин тус бүр дээр чадлын коэффициентын

тохируулга (ЧКТ) болон хүчдэлийн тохируулга (ХТ) хийж тооцоог Powerfactor программаар гүйцэтгэв.

V. СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН ҮР ДҮН

A. Чадлын алдагдлын үр дүнгийн шинжилгээ

ТЭҮ нь холболтын өөр өөр хувилбарт өөр өөр нэвтрүүлэлтийн түвшинтэй (НТ). Сүлжээн дэх алдагдалд ТЭҮ-ийн хүчин чадал болон байршлын нөлөөг судална. Мөн туршилтын хуваарилалтын системд нийт эрчим хүчний алдагдлыг багасгах ТЭҮ-ийн хамгийн тохиромжтой хүчин чадал, байршлыг танилцуулав.

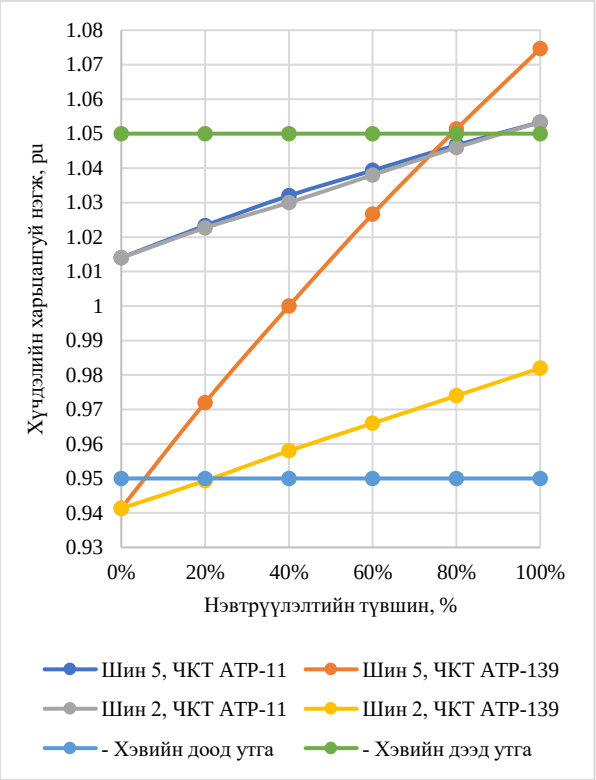


2-р зураг. Чадлын алдагдал болон нарны үүсгүүрийн нэвтрүүлэлтийн түвшинг шин 2 болон 5 дээр харьцуулав . (чадлын коэффициентийн тохируулга болон хүчдэлийн тохируулгатай үед шин тус бүр дээр)

ТЭҮ холбогдоогүй байх үед системийн чадлын алдагдал 47.57 кВт байна. Зураг 2 дээр өөр өөр шин дээрх чадлын алдагдлыг харуулав. Үүнээс харахад ТЭҮ-ийн нэвтрүүлэлтийн түвшин ихсэх тусам алдагдал нь хамгийн бага хэмжээнд (өөрөөр хэлбэл хамгийн тохиромжтой ТЭҮ хэмжээ) буурдаг ба хэрэв ТЭҮ-ийн хэмжээ цаашид нэмэгдвэл алдагдал нэмэгдэж эхэлдэг ба энэ нь үндсэн алдагдлаас хэтэрч болзошгүй нь тодорхой байна. Мөн ТЭҮ-ийн байршил нь нийт цахилгаан алдагдалд чухал үүрэг гүйцэтгэдэг нь харагдаж байна. Уг графикт шин 5 дээр чадлын тохируулгатай бөгөөд нэвтрүүлэлтийн түвшин 60% дээр байхад алдагдал хамгийн бага байгаа нь харагдаж байна.

B. Хүчдэлийн хазайлтын үр дүнгийн шинжилгээ

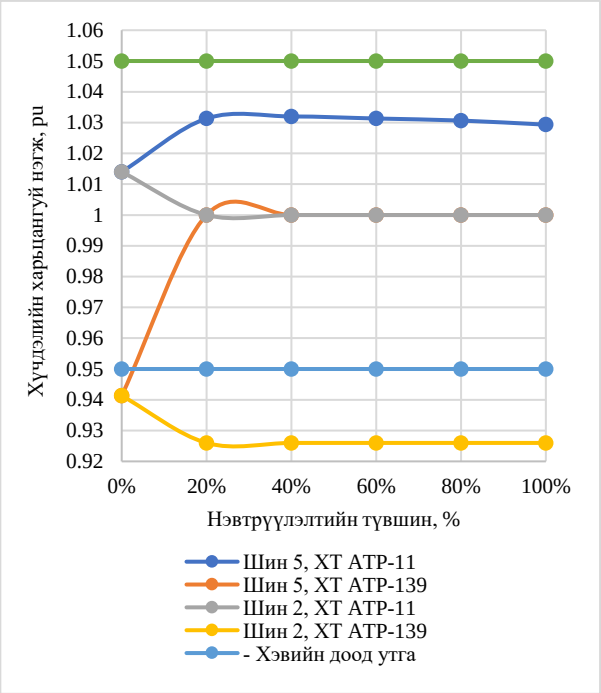
ТЭҮ-ийн хүчин чадал, байршил нь хүчдэлийн хазайлтанд нөлөөлдөг. Системийг хэмнэлттэй, аюулгүй байдалд байлгахын тулд хангамжийн системд ТЭҮ-ийн хамгийн тохиромжтой байрлал, хүчин чадалд анхаарснаар энэ хэсгийн үр дүн маш чухал юм.



3-р зураг. Хүчдэлийн харьцангуй нэгж болон нэвтрүүлэлтийн түвшинг шин 2 болон 5 дээр харьцуулав. (чадлын коэффициентийн тохируулгатай)

Шинжилгээний хамгийн бага хүчдэл нь шин-5 дээр байгааг үр дүнгээс харж болно. Мөн шин 5-аас бусад бүх шиний хүчдэл хүлээн зөвшөөрөгдөх хүчдэлийн хэмжээнд байгаа нь харагдаж байна. Үүний үр дүн нь тодорхой бөгөөд энэ тохиолдолд шинийн хүчдэл фидерийн төгсгөлд буурдаг.

Чадлын алдагдал нь нэвтрүүлэлтийн түвшин 60%-тай байхад хамгийн бага байгаа нь тогтоогдсон. Системд холбосон ТЭҮ нь шин тус бүрийн хүчдэлийн хазайлтыг сайжруулж байгаа нь харагдаж байна. Тэр тусмаа НТ=60% байхад шин-5-ын хүчдэлд хамгийн өндрөөр нөлөөлж байна.



4-р зураг. Хүчдэлийн харьцангуй нэгж болон нэвтрүүлэлтийн түвшинг шин 2 болон 5 дээр харьцуулав. (хүчдэлийн тохируулгатай үед)

Үүнээс харахад шин-5 дээр хүчдэлийн тохируулгатай ТЭҮ залгахад хүчдэлийн хазайлт хэвийн утгандаа очиж байгаа хэдий ч шин-2 дээр залгахад АТП-139 төгсгөлийн станцын хүчдэлийн хазайлт хэвийн утгаасаа буурч байгаа нь харагдаж байна.

Үр дүнг 3-р хүснэгтэд нэгтгэн үзүүлэв. ЧКТ-г ХТ-тай харьцуулахад ЧКТ нь чадлын алдагдал бага, хуурмаг чадал мөн бага байна. Харин ХТ-тай үед хүчдэл хэдий тогтвортой байгаа ч чадлын алдагдал харьцангуй их байгаа нь харагдаж байна. ЧКТ-тай НТ=60% байх үед чадлын алдагдал хамгийн бага, зураг 2 дээр хүчдэл хэвийн утгандаа хүрч тогтворжиж байгаа нь харагдаж байна. Иймд цахилгаан станцын үзүүлэлтүүдийг сайжруулахын тулд ТЭҮ-ийг холбохдоо төлөвлөлт, түүний хүчин чадал болон байрлалаас ихээхэн хамаардаг.

ТЭҮ ХОЛБОХОД ГАРСАН ҮР ДҮН

3-Р ХҮСНЭГТ

НТ, %	ЧКТ		ХТ	
	ΔP, кВт			
	шин 2	шин 5	шин 2	шин 5
0%	47.57	47.57	47.57	47.57
20%	40.84	27.48	63.47	24.12
40%	36.05	15.64	72.42	15.63
60%	33.11	10.69	85.85	24.07
80%	31.95	11.63	103.51	46.4
100%	32.47	17.67	125.18	80.52
Qэх, кВар				
	шин 2	шин 5	шин 2	шин 5
0%	132.8	132.8	132.8	132.8
20%	126.9	115.9	591.5	-60.7
40%	122.4	104.8	752	104.5
60%	119.2	98.6	910.9	264.1
80%	117.3	96.8	1068.3	419.2
100%	116.5	98.7	1224.5	570.4
Qpv, кВар				
	шин 2	шин 5	шин 2	шин 5
0%	0	0	0	0
20%	0	0	-445.5	171.4
40%	0	0	-599.5	0.2
60%	0	0	-748.9	-153.4
80%	0	0	-893.9	-292.6
100%	0	0	-1034.7	-419.7

VI. ДҮГНЭЛТ

Манай улсын түгээх сүлжээнд чадлын алдагдал, хүчдэлийн уналтын асуудал ихээр тохилддог. Олон улсад дэлгэрээд байгаа ТЭҮ сүлжээнд холбох талаар нэгэн фидер дээр авч үзлээ. ТЭҮ-ийг нэгтгэхийн өмнө бүх талыг хамарсан шинжилгээ хийх ёстой.

Энэхүү судалгаанд нарны тархмал үүсгүүр нь түгээх сүлжээн дэх хүчдэлийн хазайлт болон чадлын алдагдалд хэрхэн нөлөөлдгийг харуулав. Тухайн фидерийн шин 2 болон 5 дээр нарны ТЭҮ-г ЧКТ болон ХТ-тайгаар залгаж үзэв. Судалгаанаас харахад нэвтрүүлэлтийн түвшин 60%-тай байхад ЧКТ-тай нарны ТЭҮ системд залгахад хамгийн тохиромжтой бөгөөд чадлын алдагдал хамгийн бага 10,69кВт, хүчдэлийн хазайлт хэвийн утгандаа очиж байна.

ТЭҮ-ийг хаана холбох, ямар чадлаар нэвтрүүлэх нь хамгийн чухал юм. Хамгийн бага хүчдэлийн хазайлт мөн чадлын алдагдлаас шалтгаалан ТЭҮ-ийн хамгийн тохиромжтой хүчин чадал, байршил хангагдах юм.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] Muthukumar, K. and Jayalalitha, S., 2016. Optimal placement and sizing of distributed generators and shunt capacitors for power loss minimization in radial distribution networks using hybrid heuristic search optimization technique. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, *78*, pp.299-319.

[2] Oshiro, M., Tanaka, K., Senjyu, T., Toma, S., Yona, A., Saber, A.Y., Funabashi, T. and Kim, C.H., 2011. Optimal voltage control in distribution systems using PV generators. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, *33*(3), pp.485-492.

[3] Dixit, M., Kundu, P. and Jariwala, H.R., 2019. Integration of distributed generation for assessment of distribution system reliability considering power loss, voltage stability and voltage deviation. *Energy Systems*, *10*, pp.489-515.

[4] Kabiri, R., Holmes, D.G. and McGrath, B.P., 2014, June. The influence of pv inverter reactive power injection on grid voltage regulation. In *2014 IEEE 5th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG)* (pp. 1-8). IEEE.

[5] Pandi, V.R., Zeineldin, H.H. and Xiao, W., 2012. Determining optimal location and size of distributed generation resources considering harmonic and protection coordination limits. *IEEE transactions on power systems*, *28*(2), pp.1245-1254.

[6] Favuzza, S., Ippolito, M.G. and Massaro, F., 2014, May. Integration issues of distributed generators considering faults in electrical distribution networks. In *2014 IEEE International Energy Conference (ENERGYCON)* (pp. 1062-1068). IEEE.

[7] El-Khattam, W. and Salama, M.M., 2004. Distributed generation technologies, definitions and benefits. *Electric power systems research*, *71*(2), pp.119-128.

[8] Hung, D.Q. and Mithulananthan, N., 2011. Multiple distributed generator placement in primary distribution networks for loss reduction. *IEEE Transactions on industrial electronics*, *60*(4), pp.1700-1708.

[9] IEEE Standards Association, 2014. Standard for interconnecting distributed resources with electric power systems. *IEEE Std*, *1547*.

[10] Georgilakis, P.S. and Hatziargyriou, N.D., 2013. Optimal distributed generation placement in power distribution networks: models, methods, and future research. *IEEE Transactions on power systems*, *28*(3), pp.3420-3428.

[11] Algarni, A.A. and Bhattacharya, K., 2009, March. Utility-owned DG units' impacts on distribution system operation. In *2009 IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition* (pp. 1-6). IEEE.

[12] Abu-Mouti, F.S. and El-Hawary, M.E., 2011. Optimal distributed generation allocation and sizing in distribution systems via artificial bee colony algorithm. *IEEE transactions on power delivery*, *26*(4), pp.2090-2101.

[13] Dugan, R.C., McDermott, T.E. and Ball, G.J., 2001. Planning for distributed generation. *IEEE industry applications magazine*, *7*(2), pp.80-88.

[14] Rugthaicharoencheep, N. and Auchariyamet, S., 2012. Technical and economic impacts of distributed generation on distribution system. *International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering*, *6*(4), pp.385-389.

[15] Barker, P.P. and De Mello, R.W., 2000, July. Determining the impact of distributed generation on power systems. I. Radial distribution systems. In *2000 Power Engineering Society Summer Meeting (Cat. No. 00CH37134)* (Vol. 3, pp. 1645-1656). IEEE.

[16] Borges, C.L. and Falcao, D.M., 2006. Optimal distributed generation allocation for reliability, losses, and voltage improvement. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, *28*(6), pp.413-420.

[17] Federico, J., Gonzalez, V. and Lyra, C., 2005, June. Learning classifiers shape reactive power to decrease losses in power distribution networks. In *IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2005* (pp. 557-562). IEEE.

[18] Hung, D.Q., Mithulananthan, N. and Bansal, R.C., 2010. Analytical expressions for DG allocation in primary distribution networks. *IEEE Transactions on energy conversion*, *25*(3), pp.814-820.

[19] Paliwal, P., Patidar, N.P. and Nema, R.K., 2014. Planning of grid integrated distributed generators: A review of technology, objectives and techniques. *Renewable and sustainable energy reviews*, *40*, pp.557-570.

[20] Acharya, N., Mahat, P. and Mithulananthan, N., 2006. An analytical approach for DG allocation in primary distribution network. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, *28*(10), pp.669-678.

ЦДҮС ТӨХК-ИЙН ЗҮҮН-ӨМНӨД БҮСИЙН ЦАХИЛГААН ДАМЖУУЛАХ СҮЛЖЭЭНИЙ РЕАКТИВ ЧАДЛЫН ТОХИРУУЛГАД НАРНЫ ЦАХИЛГААН СТАНЦЫН ҮЗҮҮЛЭХ НӨЛӨӨЛӨЛ

Даваацэрэнгийн БАЯРЖАРГАЛ[1,2], Дагвадоржийн АНХБАЯР[2], Алтанцэцэгийн ГАНБААТАР[1,3], Эрдэнэбатын ЭНХСАЙХАН[1*]

[1]Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Цахилгааны инженерийн салбар, Шинэ, сэргээгдэх эрчим хүчний салбар

[2]Монгол улс, Улаанбаатар, ЦДҮС ТӨХК, Зүүн-Өмнөд бүсийн салбар

[3]Монгол улс, Улаанбаатар, Эрчим хүчний үндэсний төв, захиалагч, техник хяналтын хэлтэс

**Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: nptgzubs3@gmail.com, Enkhsaikhan@must.edu.mn*

***Хураангуй*: Монгол Улсын цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээ сүүлийн жилүүдэд 7-8 %-ийн өсөлттэй байна. Цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээ өсөхийн хэрээр эх үүсвэрүүдийг барих шаардлага тулгарч 2018 оноос хойш манай улсад сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсвэрүүд олноор баригдсан. Манай хариуцан ажилладаг бүс нутагт нарны цахилгаан станц (НЦС) 4, салхины цахилгаан станц (СЦС) 1 нийтдээ 140 МВт суурилагдсан хүчин чадалтай сэргээгдэхийн эх үүсвэрүүд ашиглалтад орж үйл ажиллагаа явуулж байна. Говь нар НЦС, Гэгээн нар НЦС, Сайншанд СЦС, Эрдэнэ нар НЦС-ууд тус тус бүрэн хүчин чадлаараа ажиллаж системд чадал нийлүүлэх үед 220/110/35/6 кВ-ын Чойр дэд станцын 110 кВ-ын шинийн хүчдэлийг нэгдсэн сүлжээний дүрмийн дагуу барихын тулд 35 кВ-н 20 МВар-ын реакторыг таслах залгаж ажиллаж байна. 30 МВт-ын Эрдэнэ нар НЦС дээрх 20 МВт-ын Батарей хуримтлуур систем шөнийн цагуудад цэнэглэгдэх горимд ажиллах үед Айраг-Сайншанд-Замын-Үүд чиглэлд шинийн хүчдэл шөнийн цагуудад унаж 109 кВ болж буурч байна. Харин өдрийн цагуудад Гэгээн нар НЦС, Эрдэнэ нар НЦС-ууд чадлыг нийлүүлэх Сайншанд, Замын-Үүд, Эрдэнэ нар дэд станцуудад шинийн хүчдэл 122 кВ хүртэл өсөж байна. Сайншанд-Эрдэнэ нар-Замын-Үүдийн чиглэлд хүчдэлийн хэлбэлзэл ихтэй байгаа нь хүчдэлийн түвшнийг тохируулан ажиллахад хүндрэл үүсгэж байна. Иймээс тус Эрдэнэ нар НЦС, БХС дэд станцад реактив чадлаар сүлжээнд оролцох үед үзүүлэх нөлөөллийг судалсан болно.**

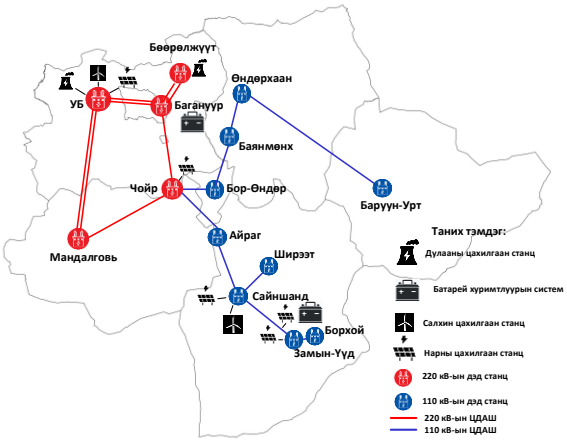
Түлхүүр үг: Зүүн-Өмнөд бүс, цахилгаан дамжуулах сүлжээ, Нарны цахилгаан станц, Салхин цахилгаан станц, батарей хуримтлуурын систем, горим, чадлын алдагдал, хүчдэлийн хазайлт, Бөөрөлжүүтийн цахилгаан станц, Чойр – Сайншандын шугам, дэд станц, нөлөөлөл)

I. УДИРТГАЛ

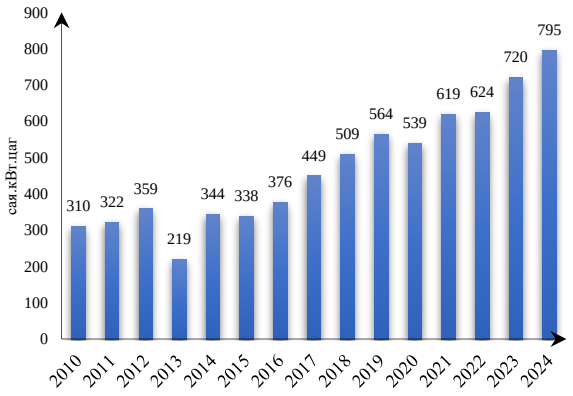
ЦДҮС ТӨХК-ийн Зүүн-Өмнөд бүсийн салбарын суурилагдсан хүчин чадал 762.9 МВА, хотын төвийн 1 дүүрэг, 5 аймгийн 60 суманд цахилгаан эрчим хүчийг дамжуулах үйл ажиллагаа явуулж, 220, 110 кВ-ын 1266.502 км цахилгаан дамжуулах агаарын шугам (ЦДАШ), 12 дэд станцын ашиглалт, засвар үйлчилгээ болон найдвартай ажиллагааг ханган ажилладаг. Улсын хэмжээнд хүн ам өсөн нэмэгдэж, барилга байгууламж, үйлдвэрлэл нэмэгдэж байгаа нь цахилгаан эрчим хүчний үүсгүүрийн дутагдал, найдвартай ажиллагаа, техникийн нөөц, техник технологийн болон боловсон хүчний эрэлт зэрэг олон зүйлд нөлөөлөл үзүүлж байгаа нь ЗӨБС-ын 2010-2024 онуудын нийт ачааллын харьцуулалт (Зураг.2)-ээс харагдаж байна. Өсөн нэмэгдэж байгаа цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээг хангахын тулд дэд станцуудын хүчин чадлын өргөтгөх, ЦДАШ-уудын дамжуулагчийн хөндлөн огтлолыг нэмэх зайлшгүй шаардлага гарч байна.

Зүүн-Өмнөд бүсийн салбар ачааллын түвшин 2015 оны түвшинтэй харьцуулахад 90 МВт-аар нэмэгдсэн байна.

Мөн тус салбарын хэмжээнд 220 кВ-ын Чойр дэд станцын трансформаторын чадлыг нэмэгдүүлж, 4 дэд станцад томоохон өргөтгөл шинэчлэл хийж, 110 кВ-ын 2 дэд станц ашиглалтад орж суурилагдсан хүчин чадал 352.3 МВА-аар нэмэгдсэн.



1-р зураг. Зүүн-Өмнөд бүсийн салбарын цахилгаан дамжуулах сүлжээний үйлчлэх хүрээ



2-р зураг. Салбарын цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээний статистик (2010-2024 он)

Цаашид Чойр дэд станцаас 50 МВт чадалтай НЦС, 100 МВт чадалтай СЦС, Багануур дэд станцаас 45 МВт-ын Ус цэнэгт цахилгаан станц, Нүүрсний хийгээр ажиллах 300 МВт чадалтай цахилгаан станцууд холбогдохоор техникийн нөхцөлүүд гарсан байна.

Тус салбарт сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсвэрүүд олноор холбогдсоноор Сайншанд, Эрдэнэ нар НЦС, Замын-Үүд дэд станцуудын шинийн хүчдэл хэлбэлзэл ихтэйгээс хамаарч горимын тохируулга хийхэд хүндрэл үүсгэж байгаа учраас тохируулга хийж ажиллах боломжийг судлав.

Мөн сүүлийн 10 жилд тус салбарын горим ажиллагааны өөрчлөлттэй холбоотой хийсэн бүтээл одоогоор байхгүй байгаа тул уг судалгааг хийв.

ЗҮҮН-ӨМНӨД БҮСИЙН ЧИГЛЭЛД АШИГЛАЛТАД ОРСОН СЭРГЭЭГДЭХ ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ ЭХ ҮҮСВЭР БОЛОН БУСАД ҮҮСВЭРҮҮДИЙН ЖАГСААЛТ

1-Р ХҮСНЭГТ

ЦДҮС ТӨХК	**Эх үүсвэрүүдийн судалгаа**		
	СЭХ-ний эх үүсвэрийн нэр	***Суурилагдсан хүчин чадал МВт***	***Ашиглалтад орсон он***
ЗӨБС-ын эзэмшлийн бүсэд холбогдсон	Сайншанд СЦС	55	2018
	Гэгээн нар НЦС	15	2018
	Говь нар НЦС	30	2020
	Сүмбэр нар НЦС	10	2018
	Эрдэнэ нар НЦС	30	2023
Нийлбэр чадал, МВт		140	

ЗҮҮН-ӨМНӨД БҮСИЙН ЧИГЛЭЛД АШИГЛАЛТАД ОРСОН СЭРГЭЭГДЭХ ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ ЭХ ҮҮСВЭР БОЛОН БУСАД ҮҮСВЭРҮҮДИЙН ЖАГСААЛТ

2-Р ХҮСНЭГТ

ЦДҮС ТӨХК	**Бусад эх үүсвэрүүдийн судалгаа**		
	СЭХ-ний эх үүсвэрийн нэр	***Суурилагдсан хүчин чадал МВт***	***Ашиглалтад орсон он***
ЗӨБС-ын эзэмшлийн бүсэд холбогдсон	Бөөрөлжүүт ЦС	150	2024
	Багануур БХС	50/100 МВт.цаг	2024
	Эрдэнэ нар БХС	20/80 МВт.цаг	2024
Нийлбэр чадал, МВт		290	
Батарей хуримтлуурын системийн нийлбэр чадал		70МВт/130 МВт.цаг	

II. ЗҮҮН-ӨМНӨД БҮСИЙН САЛБАРЫН ЦАХИЛГААН ШУГАМ СҮЛЖЭЭНИЙ ӨНӨӨГИЙН ГОРИМ АЖИЛЛАГААНЫ ТҮВШИН

А. Өвлийн их ачааллын үеийн хяналт хэмжилтийн мэдээлэл

2024 оны 12-р сарын 18-ны өдрийн хяналт хэмжилт хийгдэх үед салбарын схемд дараах өөрчлөлтүүд орсон байсан.

2024 оны 11-р сард Багануур дүүрэгт 50 МВт-ын батарей хуримтлуурын системийн барилга угсралтын ажил дуусаж ТБНС-тэй зэрэгцээ ажиллагаанд холбогдон ажиллаж эхэлсэн.

Багануурт БХС ашиглалтад орсонтой холбоотой Багануур дэд станцад автотрансформатор-1, 2-ыг зэрэгцээ ажиллагаанд залгасан.

2024 оны 12-р сарын 31-ний өдөр 300 МВт-ын Бөөрөлжүүтийн цахилгаан станц ТБНС-тэй синхрон залгагдаж ТБНС-тэй зэрэгцээ ажиллаж эхэлсэн. 110/35/6 кВ-ын Өндөрхаан дэд станцын трансформаторын хүчин чадлыг нэмэгдүүлж 2х25 МВА бүхий трансформаторыг шинээр суурилуулж 2 трансформаторыг ЭХС-н ерөнхий инженерүүдийн зөвлөгөөнөөс гарсан шийдвэрийн дагуу зэрэгцээ ажиллагаанд залгасан. Мөн 2024-2025 оны өвлийн их ачааллын горимд ДБЭХС ТӨХК нь ТБНС-ээс тусдаа ажилласан байна.

2024 ОНЫ 12-Р САРЫН 18-НЫ ӨДРИЙН 05, 12, 19, 23 ЦАГУУДАД ХИЙГДСЭН ӨВЛИЙН ИХ АЧААЛЛЫН ХЯНАЛТ ХЭМЖИЛТИЙН ЧАДЛЫН НЭГДСЭН БАЛАНС

3-Р ХҮСНЭГТ

Хэмжилт хийсэн цаг	**Чадлын баланс**			
	Нийт дамжуулах чадал, МВт	***Нийт ачаалал, МВт***	***Алдагдал МВт***	***Алдагдал %***
05 цаг	172.3	157.0	15.3	8.86%
12 цаг	100.9	94.7	6.26	6.2%
19 цаг	116.4	108.1	8.3	7.15%
23 цаг	103.5	97.1	6.4	6.2%

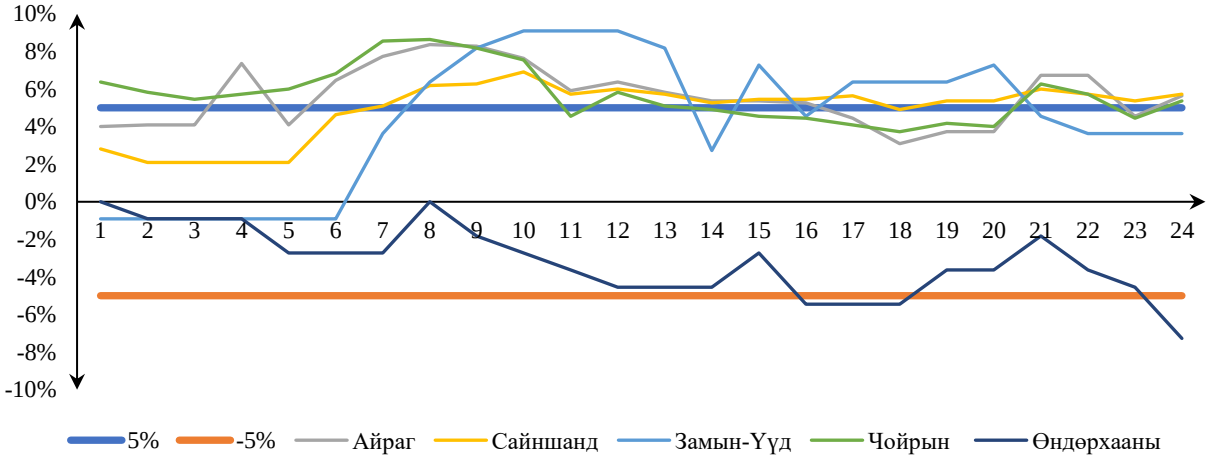
2023 өвлийн их ачааллын хяналт хэмжилтээр дундаж ачаалал 110 МВт байсан бол энэ оны хэмжилтээр 123.3 МВт болж өмнөх оноос 13.3 МВт-аар өссөн харагдаж байна. Хяналт хэмжилт хийх үед өмнөх оны 5 цагт 98.7 МВт ачаалалтай байсан бол энэ оны 5 цагт 172.3 МВт-ын ачаалал авч 73.5 МВт-аар өссөн үзүүлэлттэй харагдаж байна.

Энэхүү өсөлт нь Багануур дүүрэгт 50 МВт-ын Батарей хуримтлуурын систем, 30 МВт-ын Эрдэнэ нар НЦС-д 20 МВт-ын Батарей хуримтлуурын систем ашиглалтад орж шөнийн цагуудад БХС цэнэглэгдэх горимд ажиллаж байгаатай холбоотой.

Горим ажиллагаанаас шалтгаалан 110/35/10 кВ-ын Сайншанд дэд станцад шинийн хүчдэл 123 кВ хүртэл өсч, 110/35/6 кВ-ын Өндөрхаан дэд станцад 110 кВ-ын шинийн хүчдэл 94 кВ хүртэл буурч хүчдэлийн хэлбэлзэл их байгаагаас ЦЭХ-ний чанарт сөргөөр нөлөөлж байна. Хүчдэлийн түвшнийг барьж ажиллахын тулд 220/110/35/6 кВ Чойр дэд станцад 35 кВ 20 МВар-ын реактор, 110/35/10 кВ Сайншанд дэд станцад 3.3 МВар-ын реакторыг тасалж, залгаж ажилласан. Мөн Сайншандын Шанд салхин цахилгаан станцын SVG төхөөрөмжид засвар тохируулгын ажил хийх үед 110 кВ-ын шинийн хүчдэлийг хэвийн хэмжээнд барихын тулд 110 кВ Айлбаян агаарын шугамыг тасалж ажиллаж байна.

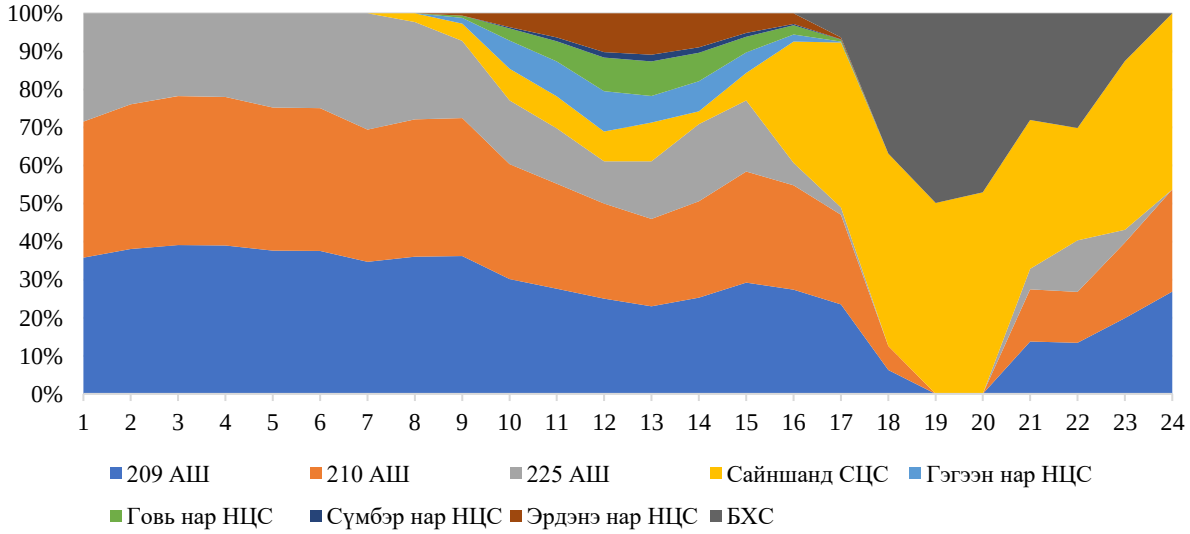
220/110/35 кВ-ын 300 МВт-ын Бөөрөлжүүт цахилгаан станц холбогдсоноор тус дэд станцад 35 кВ-ын реактор-1, реактор-2 байнгын залгаатай горимд ажиллаж байна.

Стандартаар цахилгаан эрчмийн хэрэглэгчдийн оруулган дээрх хүчдэлийн хэвийн зөвшөөрөгдөх утга номиналь утгаасаа +- 5% ба хязгаарын зөвшөөрөгдөх утга +-10% байх ёстой гэж заасан байдаг.



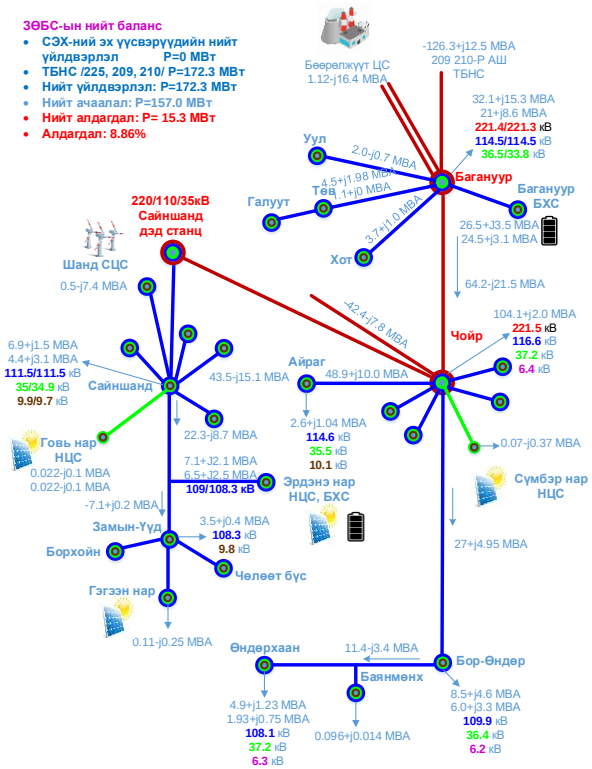
3-р зураг. 2024 оны 12 сарын 18-ны өдрийн хүчдэлийн хазайлтын график

3-р зургаас харахад Өндөрхаан, Замын-Үүд, Сайншанд, Айраг дэд станцуудын шинийн хүчдэлийн хазайлт шөнийн 01.00-08.00 цагийн завсарт норм хэмжээндээ байгаа ч, 08.00-17.00 цагийн завсарт Чойр, Айраг, Сайншанд, Замын-Үүд дэд станцуудын шинийн хүчдэлийн хазайлт 5-8%-тай, 17.00-24.00 цагийн завсарт норм хэмжээнд баригдаж, 24 цагийн турш 5-11 кВ-н зөрүүтэйгээр байнгын хэлбэлзэлтэй байна.



4-р зураг. 2024 оны 12 сарын 18-ны өдрийн хоногийн ачаалалын график

B. Судалгааны хэсэг



5-р зураг. Зүүн-Өмнөд бүсийн салбарын схем дээр энэ өвлийн их ачааллын хяналт хэмжилтийн 5 цагийн утгыг тоймлон харуулав.

Дээрх схемээс харахад Сайншанд-Замын-Үүд чиглэлийн сэргээгдэхийн эх үүсвэрүүд үйлдвэрлэл 0 үед тус чиглэлийн хэрэглэгчид болон Эрдэнэ нарын БХС-үүд ТБНС-ээс тэжээгдэж байгаатай холбоотой шугамын төгсгөлд хүчдэл буурсан харагдаж байна.

Харин 12.00 цагт Сайншанд-Замын-Үүд чиглэлийн сэргээгдэхийн эх үүсвэрүүд үйлдвэрлэл 42.4 МВт байхад энэ үед шинийн хүчдэл 120 кВ хүртэл өссөн. 19.00 цагт Сайншанд СЦС 49.4 МВт, Эрдэнэ нар БХС, Багануур БХС 67 МВт чадлыг нийлүүлэх үед Эрдэнэ нар НЦС-ын шинийн хүчдэл 120 кВ хүртэл өссөн. Эрдэнэ нар Батарей нь актив чадлыг системд нийлүүлэх үед 2 МВар-ын реактив чадлыг гаргаж системд нийлүүлдэг. Энэ нь хүчдэл өсгөх гол шалтгаан болдог.

Чойр-Айраг-Сайншанд-Замын-Үүдийн чиглэлд нарны цахилгаан станц 4, салхин цахилгаан станц 1 холбогдон нийлүүлэлт хийж байгаатай холбоотой 110 кВ-н шинийн хүчдэлийн хэлбэлзлийн түвшин хэлбэлзэл ихтэй байна. Энэ нь горим тохируулганд хүндрэлтэй нөхцөл байдлыг үүсгэж байна.

Горимын параметрийн тохируулгад оролцож байгаа реактор, статик вар генератор (СВГ), компенсаторуудын ажиллагааны байдлыг дор дурдвал:

ТУС САЛБАРЫН ЭЗЭМШЛИЙН ДЭД СТАНЦУУДЫН АЖИЛЛАГААНД БАЙДАГ РЕАКТОРУУДЫН СУДАЛГААГ ХАРУУЛАВ

4-Р ХҮСНЭГТ

Д/д	Компенсациалах төхөөрөмжийн жагсаалт		
	Дэд станцын нэр	*Реактор, СВГ-н чадал МВар*	*Авч байгаа ачаалал, МВар*
1	Багануур	2х20	2х15
2	Чойр	2х20	1х18
3	Сайншанд	2х3.3	2х3
4	Замын-Үүд	1х3	1х1
5	Өндөрхаан	2х+-9	+-1-+-9

- Багануур дэд станцын реактор-1, реактор-2 байнгын залгаатай горимд, Чойр дэд станцын реактор-1 горим ажиллагаанаас шалтгаалан таслах, залгах горимд,
- Сайншанд дэд станцын реактор-1, реактор-2 байнгын залгаатай горимд, Замын-Үүд дэд станцын реактор-1 байнгын залгаатай, Өндөрхаан дэд станцын СВГ-1, СВГ-2 тус тус залгаатай ажиллаж байна.
- Сайншанд СЦС-ын 18 МВар-ын СВГ нь байнгын залгаатай горимд тус тус ажиллаж сүлжээний реактив чадлын компенсациалаж ажиллаж байна.

III. ЗҮҮН-ӨМНӨД БҮСИЙН ЦАХИЛГААН ДАМЖУУЛАХ СҮЛЖЭЭНИЙ СИМУЛЯЦИЙН ЗАГВАР БА СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН

A. Судалгааны арга зүй

“DigSILENT” компаний “Power Factory” тооцооллын программ нь эрчим хүчний системийн цахилгаан үйлдвэрлэлт, цахилгаан дамжуулалт, хуваарилалтын системүүдэд дүн шинжилгээ хийх зорилго бүхий компьютер дээр суурилсан инженерийн хэрэглүүр юм. Уг программын дизайн нь цахилгаан эрчим хүчний систем, түүний удирдлагын оновчлол, төлөвлөлтийн үндсэн зорилтод хүрэх удирдлагын анализ хийхэд зориулагдсан дэвшилтэт нийлмэл, интерактив программ хангамж юм. “DigSILENT” гэдэг нь “Digital SImuLation of Electrical NeTworks” гэсэн товчилсон үг юм. “DigSILENT Version 23” нь анхдагч схем хэлбэрээр дүрслэгдсэн эрчим хүчний системийн анализ хийдэг анхны программ хангамж юм. Энэхүү интерактив анхдагч схемийн зураглал нь зургийн функцүүд, засварлагдах боломж, бүх төрлийн статик болон динамик хамааралтай тооцооллуудыг агуулсан. Герман улсын Дигсайлент (DigSILENT) компаний Поверфактори (Powerfactory) симуляцийн программын лицензийг ЦДҮС ТӨХК-ийн албан ёсны эрхтэйгээр ашиглаж байна.

Мөн тус судалгааг хийхдээ харьцуулан дүгнэх аргыг ашигласан болно.

6-р зураг. Поверфактори симуляцийн программ

В. Судалгааны хэсэг

2024.12.18-ны өдрийн 05.00, 12.00, 19.00 цагуудад хийсэн хэмжилтийн мэдээн дээр үндэслэн үүсгэсэн загвар дээр тухайн цаг бүрт үүссэн асуудлыг шийдэх зорилгоор тооцоог хувилбар болгон авч судалж горимын тооцоо хийлээ. 05.00 цагийн ачааллын мэдээн дээр үндэслэн дараах тооцоог хийлээ: Үүнд:

Хувилбар 1.

Эрдэнэ нар НЦС өдрийн цагт 15 МВт чадлыг системд нийлүүлж, 15МВт-аар БХС-г бүрэн цэнэглэсэн үед 05.00 цагт 13.6+j4.6 МВА-ын чадал ТБНС-ээс аваагүй үед хүчдэл 117 кВ-той баригдахаар байна. Энэ үед салбарын алдагдал 7.34%-өөс 4.47%-тай болж буурч байна.

05.00 ЦАГИЙН ТООЦООНЫ ҮР ДҮНГ ХАРУУЛАВ

5-Р ХҮСНЭГТ

Хэмжилт хийсэн цаг	05.00 цагийн чадлын баланс			
	P нийт МВт	***P ачаалал МВт***	***P алд МВт***	***P алд %***
Хэмжилтийн 05.00 цаг	167.1	156.4	12.4	7.34%
Чадлын хэмжээг өөрчилсөн 05.00 цаг	149.6	142.9	6.7	4.47%

Хувилбар 2.

Эрдэнэ нар БХС-г шөнийн бага ачааллын цагаар 13.6+j4.6 МВА-аар цэнэглэсэн тохиолдолд Замын-Үүдийн чиглэлд 110 кВ-ын хүчдэл 109 кВ-руу буурч байгаа бөгөөд энэ үед БХС дээрээ 4-5 МВар реактив чадлыг сүлжээнд нийлүүлснээр хүчдэлийг 116 кВ болгож өсгөж байна. Энэ үед салбарын алдагдал 7.34%-с 7.45%-тай болж өсөж байна.

05.00 ЦАГИЙН ТООЦООНЫ ҮР ДҮНГ ХАРУУЛАВ

6-Р ХҮСНЭГТ

Хэмжилт хийсэн цаг	05.00 цагийн чадлын баланс			
	P нийт МВт	***P ачаалал МВт***	***P алд МВт***	***P алд %***
Хэмжилтийн 05.00 цаг	167.1	156.4	12.4	7.34%
Чадлын хэмжээг өөрчилсөн 05.00 цаг	169	156.4	12.6	7.45%

12.00 цагийн ачааллын мэдээн дээр үндэслэн дараах тооцоог хийлээ:

Хувилбар 3.

Эрдэнэ нар НЦС өдрийн цагт 16 МВт чадлыг системд нийлүүлэх үед шинийн хүчдэл өсөж байгаа тул нарны панель дээрээ реактив чадлыг шингээж хүчдэлийг тогтмол утганд барих бүрэн боломжтой юм. Нарны панел 6 МВар-г шингээж ажиллахад шинийн хүчдэлийг 120- оос 117кВ дээр барьж ажиллаж байна. Энэ үед алдагдал 6.51%-с 4.47%-тай болж буурч байна.

12.00 ЦАГИЙН ТООЦООНЫ ҮР ДҮНГ ХАРУУЛАВ.

7-Р ХҮСНЭГТ

Хүснэгтийн гарчиг	12.00 цагийн чадлын баланс			
	P нийт МВт	***P ачаалал МВт***	***P алд МВт***	***P алд %***
Хэмжилтийн 12.00 цаг	87.5	81.8	5.7	6.51%
Чадлын хэмжээг өөрчилсөн 12.00 цаг	87.6	81.8	5.8	4.62%

Хувилбар 4.

Эрдэнэ нар НЦС-н шинийн хүчдэлийг зөвшөөрөгдөх хэмжээнд барихын тулд БХС дээр хүчдэлийн тохируулганд оролцуулж 3 МВар реактив чадлыг шингээх горимд тавьснаар хүчдэлийг 120-оос 117 кВ руу буулгаж тохируулах боломжтой байна.

19.00 ЦАГИЙН ТООЦООНЫ ҮР ДҮНГ ХАРУУЛАВ

8-Р ХҮСНЭГТ

Хэмжилт хийсэн цаг	19.00 цагийн чадлын баланс			
	P нийт МВт	***P ачаалал МВт***	***P алд МВт***	***P алд %***
Хэмжилтийн 19.00 цаг	110.2	101.5	8.7	7.89%
Чадлын хэмжээг өөрчилсөн 19.00 цаг	110.2	101.5	9	8.14%

СЭХ-тэй зэрэгцээ ажиллаж байгаа ажиллагааны давуу тал:

Сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсвэр төвийн бүсийн нэгдсэн сүлжээтэй холбогдон ажилласнаар хүлэмжийн хийн ялгарлыг бууруулж, импортын эрчим хүчийг бууруулахад тодорхой хэмжээнд нөлөөлж байна.

Сүүлийн 2 жилийн хугацаанд БХС холбогдсоноор оргил ачааллын цагуудад систем рүү нийлүүлэлт хийснээр импортоор авах эрчим хүчний хэмжээг бууруулахад тодорхой нөлөө үзүүлэн ажиллаж байна.

ЦЭХ-ний хэрэглээний өсөлтийг хангахаар 300 МВт Бөөрөлжүүтийн ЦС-ын эхний блок буюу 150 МВт ашиглалтад орж ТБНС-тэй зэрэгцээ ажиллаж байна.

Цаашид ч СЭХ-ний эх үүсвэрүүд сүлжээнд залгагдахаар хүлээгдэж байгаа нь таатай ч горим ажиллагаанд үүсэх хүндрэлийг сайн судалж холбох зайлшгүй шаардлагатай байна.

СЭХ-тэй зэрэгцээ ажиллаж байгаа ажиллагааны сул тал

ЦЭХ-ний хэрэглээ багатай сүлжээнд СЭХ-ний эх үүсвэрийг олноор холбосноор шугам сүлжээний горим ажиллагаанд сөргөөр нөлөөлж горимын параметрүүд хэлбэлзэл ихтэй байна.

Мөн үүнээс шалтгаалан цахилгаан дамжуулах агаарын шугамуудын дамжуулах чадвар хүрэлцэхгүй болсноор хэт ачаалалд орж ашиглалтын хугацаа богиносож найдвартай ажиллагааг бууруулж байна.

Сэргээгдэх эрчим хүчийг үйлдвэрлэлтийг нэмэгдүүлэхэд бид тооцоо судалгааг сайн хийж ажиллах зайлшгүй шаардлагатай. Учир нь манай эрчим хүчний инерци багатай сүлжээ бөгөөд иймэрхүү сул сүлжээнд сэргээгдэх эрчим хүчний нэвтрүүлэлтийн түвшинд хязгаар тавих хэрэгтэй байдаг.

IV. ДҮГНЭЛТ

ЗӨБС-ын дэд станцуудтай холбогдсон Эрдэнэ нар НЦС, БХС-үүд реактив чадлаар сүлжээнд оролцох үед үзүүлэх нөлөөллийг судалж дараах дүгнэлтийг хийж байна. Үүнд:

1. Хоногийн 24 цагаар хүчдэлийн хазайлтын графикийг байгуулан харахад Өндөрхаан, Замын-Үүд, Сайншанд, Айраг дэд станцуудын шинийн хүчдэлийн хазайлт хоногийн 01.00-08.00 цагийн завсарт [-3%]-аас [6]%-ийн завсарт, 08.00-17.00 цагийн засварт Чойр, Айраг, Сайншанд, Замын-Үүд дэд станцуудын шинийн хүчдэлийн хазайлт [5]-[8]%-ийн завсарт, 17.00-24.00 цагийн завсарт [-8]%-аас [6]%-ийн завсарт тус тус гарсан байна. Хоногийн 24 цагийн турш 5 кВ-11 кВ-ын зөрүүтэйгээр байнгын хэлбэлзэлтэй байгаа нь хүчдэлийн тохируулганд хүндрэл үүсгэж байна. Тооцооны үр дүнгээс харахад Эрдэнэ нар НЦС-ын шинийн хүчдэлийг 116 кВ-117 кВ дээр барьж ажиллахад хүчдэлийн хэлбэлзлийг багасгаж байна.

2. Эрдэнэ нар, Замын-Үүд, Сайншанд дэд станцын шинийн хүчдэл 109 кВ-111 кВ болох үед Эрдэнэ нар БХС-ийг өдрийн цагт нарны панелээр цэнэглэсэн гэсэн хувилбараар үзэхэд шинийн хүчдэл 117 кВ дээр баригдаж алдагдлыг 7.34%-аас 4.47% болгож бууруулсан үр дүн гарсан.

3. Мөн Эрдэнэ нар БХС-ийн ТБНС-ээс цэнэглэгдэж байхад БХС нь 4-5 МВар-ын реактив чадлыг нийлүүлэхэд шинийн хүчдэлийг 116 кВ дээр барьж ажилласан үр дүн гарсан. Энэ үед алдагдал 0.11%-аар өсөж байна.

4. Зүүн-Өмнөд бүсийн чиглэлийн нар салхины цахилгаан станцууд олноор холбогдсон чиглэлд хүчдэлийн хазайлт ихтэйгээс шалтгаалан горимын тохируулга хийхэд хүндрэлтэй байгаа бөгөөд үүнийг тус дэд станцуудын нарны панел, батарей хуримтлуурын станц болон салхин турбины өөрийн хуурмаг чадлын чадавхад үндэслэн реактив чадлын балансад оролцуулах зайлшгүй шаардлагатай, бүрэн боломжтой харагдаж байна.

5. Монгол Улсын эрчим хүчний системийн нэгдсэн сүлжээний дүрмийг дахин шинэчлэн нар болон салхин цахилгаан станцуудыг реактив чадлын балансад оролцож байх талаар заалт оруулан мөрдөж ажиллах шаардлагатай байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] ЦДҮС ТӨХК-ийн ЗӨБС-ын 2024 оны өвлийн их ачааллын хяналт хэмжилтийн тайлан.

[2] ДҮТ ТӨХХК-ийн 2024-2025 оны ЭХС-ийн горим ажиллагааны төлөвлөлт.

[3] ЦДҮС ТӨХК-ийн ЗӨБС-ын горим ажиллагааны тухай тайлан.

[4] Х.Цагаан, М.Хуягдорж “Цахилгаан энергийн damжуулалт хуваарилалт”, УБ. 2003 он

[5] Д.Содномдорж “Цахилгаан системийн горимын эрчим хүчний цогцолбор судлал ба математик загварилал шилмэл бүтээл 2012 он

[6] Д.Содномдорж “Цахилгаан системийн горим” сурах бичиг 2003 он

[7] Ш.Гантөмөр “Цахилгаан шугам сүлжээ, систем”,УБ. 2017 он

[8] Нэгдсэн сүлжээний дүрэм

[9] Л.А.Солдаткина “Электрические сети и системы”. М.: Энергия, 1978. 7.

[10] Д.Содномдорж “Цахилгаан системийн горим” сурах бичиг 2003 он

[11] Төвийн бүсийн нэгдсэн системийн 220 кВ-ын цахилгаан шугам сүлжээний горимын судалгаа 2022 он

[12] Ч.Улам-Оргил, Ц.Мөнхшүр “ТБНС-д их чадлын салхин цахилгаан станц холбогдох үед баримтлах сүлжээний дүрмийн давтамж ба актив чадлын шаардлага”, Renewable energy and advanced technology. 2018 УБ хот

[13] Баруун бүсийн эрчим хүчний системд сэргээгдэх эх үүсвэрүүдийн оролцооны үр ашгийн үнэлгээ

[14] dsums.transco.mn/login

[15] http://amr.energy.mn/acweb/Login.aspx?ReturnUrl=%2facweb%2fPrimaryReports.aspx

[16] http://data.transco.mn/index.php?r=site/login

ДОРНОД АЙМГИЙН АДУУНЧУЛУУНЫ УУРХАЙН 300 МВТ ЧАДАЛТАЙ ДУЛААНЫ ЦАХИЛГААН СТАНЦ ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ СИСТЕМД ХОЛБОГДОХ ҮЕИЙН ГОРИМЫН ТООЦОО

Гүнжидийн МӨНХТӨР[1,2], Батболдын ЦЭРЭНБАТ[1,3], Чулууны АМАРСАЙХАН[1], Эрдэнэбатын ЭНХСАЙХАН[1*] Дарийн СОДНОМДОРЖ[1*]

[1]Монгол Улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Цахилгааны инженерийн салбар, шинэ, сэргээгдэх эрчим хүчний салбар

[2]Монгол Улс, Улаанбаатар, Эрчим Хүчний Яам, Эрчим Хүчний Бодлогын Хэрэгжилтийг Зохицуулах Газар

[3]Монгол Улс, Улаанбаатар, Диспетчерийн Үндэсний Төв, Техник Хяналтын Алба

**Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: Gunjidmunkhtur@gmail.com, Chuluun.amarsaikhan@gmail.com, Enkhsaikhan@must.edu.mn, sodnomd@must.edu.mn*

***Хураангуй*: Энэхүү өгүүлэлд Дорнод аймгийн Хэрлэн суманд шинээр баригдах Адуунчулууны 2х150 МВт хүчин чадалтай дулааны цахилгаан станц Дорнод бүсийн эрчим хүчний системээр (ЭХС) дамжин Төвийн бүсийн эрчим хүчний системд холбогдсоноор системийн тогтсон горимд үзүүлэх нөлөөллийг судалсан болно. Тогтсон горимын тооцоог гүйцэтгэхдээ 2024 оны 12-р сарын 19-ний өдрийн 19:00 цагийн их ачааллын хэмжилтийн утгыг ашиглан Дорнод бүсийн эрчим хүчний системийн 110, 35 кВ-ын шугам сүлжээ, дэд станцуудыг өнөөгийн түвшинд программ хангамж ашиглан загварчлан тооцоог гүйцэтгэсэн. Судалгаанд олон улсад өргөн ашиглагдаж байгаа Герман улсын Дигсайлент компанийн Поверфактори симуляцийн программыг ашигласан болно.**

Түлхүүр үг: Дорнод аймаг, Дулааны цахилгаан станц (ДЦС), Эрчим хүчний систем (ЭХС), Нөлөөлөл, Тогтсон горим, Чадлын баланс, Чадлын алдагдал, Хүчдэлийн хазайлт, Поверфактори симуляцийн программ.

I. УДИРТГАЛ

Эрчим хүчний салбар нь Монгол Улсын үндэсний аюулгүй, бие даасан байдлыг хангах стратегийн ач холбогдол бүхий хөгжлийн тэргүүлэх салбарын нэг юм. Өнөөдрийн байдлаар нийслэл Улаанбаатар хот, 21 аймгийн төв болон 330 сум, суурин газруудын төвийн цахилгаан эрчим хүчийг хангахдаа үндсэн хэрэглээг 9 дулааны цахилгаан станц, Салхит, Сайншанд, Цэций СЦС-ууд, Дөргөн, Тайширын усан цахилгаан станц, Алтай, Улиастайн дизель станцууд болон бага, дунд чадлын сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсвэрүүдээс үйлдвэрлэж, үлдсэн хэсгийг ОХУ болон БНХАУ-аас импортоор худалдан авч цахилгаан дамжуулах, түгээх сүлжээгээр дамжуулан хангаж байна.

Монгол улсын эрчим хүчний систем нь өнөөгийн түвшинд газар нутгийн үйлчлэх хүрээний хувьд Төвийн бүсийн эрчим хүчний систем (ТБЭХС), Баруун бүсийн эрчим хүчний систем (ББЭХС), Алтай-Улиастайн эрчим хүчний систем (АУЭХС), Зүүн бүсийн эрчим хүчний систем (ЗБЭХС) гэсэн дөрвөн үндсэн хэсэгт хуваагдах бөгөөд эдгээр системүүд чадал, энергийн дутагдалтай, ОХУ болон БНХАУ-уудаас цахилгаан эрчмийн хараат байдалтай байна. Цаашид эрчим хүчний хэрэглээ улам өсөх хандлагатай байгаа тул олон төрлийн эх үүсвэрүүд шинээр ашиглалтад орсноор горимд хэрхэн нөлөө үзүүлэх талаар зайлшгүй судлах хэрэгтэй юм.

Ийм учраас бид Дорнод аймгийн Хэрлэн суманд шинээр баригдах Адуунчулууны 300 МВт чадалтай ДЦС эрчим хүчний системд холбогдсон байх үеийн горимын тооцоог гүйцэтгэж, зарим үр дүнгийн талаар энэхүү өгүүлэлд авч үзсэн болно.

II. СУДАЛГААНЫ АРГА, АРГАЧЛАЛ

Цахилгаан системийн горим, тогтворжилтын тооцооны математик загвар, түүнийг бодох аргууд нь өнөө цагт нэлээн боловсронгуй болсон байна. Сүүлийн үед олон улсад цахилгаан системийн судалгаанд симуляцийн программыг өргөн ашиглаж байна. Цахилгаан системийн тогтсон горимын тооцооны математик загвар нь өндөр эрэмбийн шугаман бус тэгшитгэлийн системийн шийдийг хайх байдаг бөгөөд Ньютон-Рафсоны арга нь итерацийн процесс бага, хурдан нийлэлттэй байдаг [1]. Бид судалгаандаа энэ аргыг сонгож хэрэглэсэн болно.

III. АНХДАГЧ ӨГӨГДӨЛ БА СИМУЛЯЦИЙН ЗАГВАРЫН ХӨГЖҮҮЛЭЛТ

A. Судалгааны объектын бүтэц, анхдагч өгөгдөл

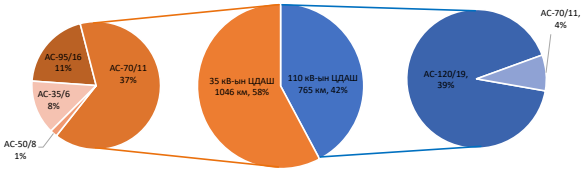
Дорнод бүсийн ЭХС нь 110 кВ-ын хүчдэлийн түвшинтэй цахилгаан шугам сүлжээ болон эрчим хүчний нэг эх үүсвэрээс бүрдэх ба суурилагдсан нийт хүчин чадал 86 МВт (Хүснэгт 1). Бид энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд 110 кВ болон 35 кВ-ын ЦШС-г бүхэлд нь авч үзэн улмаар бүх хүчний элементүүдийн судалгааг гүйцэтгэсэн болно.

ДОРНОД БҮСИЙН ЭХС-ИЙН ЭХ ҮҮСВЭРҮҮДИЙН ТЕХНИКИЙН ЗАРИМ ҮЗҮҮЛЭЛТ

1-Р ХҮСНЭГТ

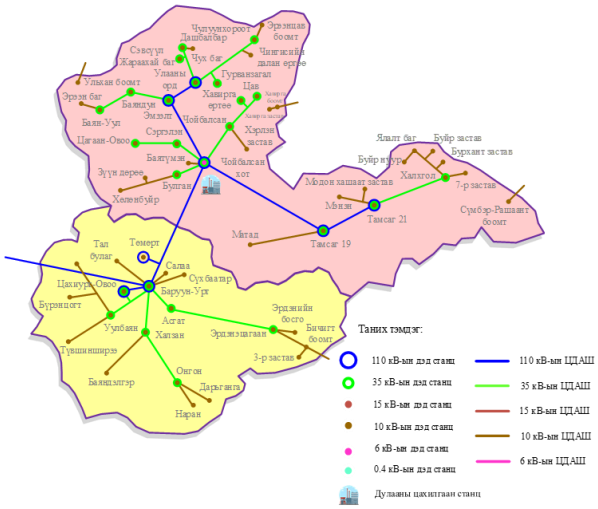
№	Нэр	Нэгж агрегатын хүчин чадал [МВт]	Агрегатын тоо [ш]	Суурилагдсан хүчин чадал [МВт]
1	Чойбалсан ДЦС	6	2	12
		12	2	24
		50	1	50
Нийлбэр				**86**

Дорнод бүсийн цахилгаан шугам сүлжээний цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын (ЦДАШ) нийлбэр урт 1811 км байгаагаас үзэхэд 765 км буюу 42 % нь 110 кВ-ынх, үлдсэн 1046 км буюу 58 % нь 35 кВ-ын хүчдэлийн түвшинд ажиллаж байна. ЦДАШ-ын хувьд 701.1 км буюу 39 % нь АС-120/19, 208 км буюу 11 % нь АС-95/16, 739 км буюу 41 % нь АС-70/11, 19.2 км буюу 1 % нь АС-50/8, үлдсэн 143 км буюу 8 % нь АС-35/8 маркийн дамжуулагчууд тус тус байна (Зураг 1).



1-р зураг. Дорнод бүсийн эрчим хүчний системийн 110, 35 кВ-ын ЦДАШ-ын бүтцийн диаграмм.

Хоёр болон гурван ороомогт хүчний трансформаторуудын хувьд нийт 23 ширхэг трансформатор ашиглагдаж байгаагаас 11 ширхэг нь буюу 48 % нь 110 кВ-ынх, үлдсэн 12 ширхэг нь буюу 52 % нь 35 кВ-ын түвшинд тус тус ажиллаж байна. Трансформаторын хүчин чадлын хувьд авч үзвэл 0.1-25 МВА-ын хооронд байна. Дорнод бүсийн ЭХС-ийн цахилгаан шугам сүлжээний үйлчлэх хүрээг Зураг 2-т үзүүлэв.

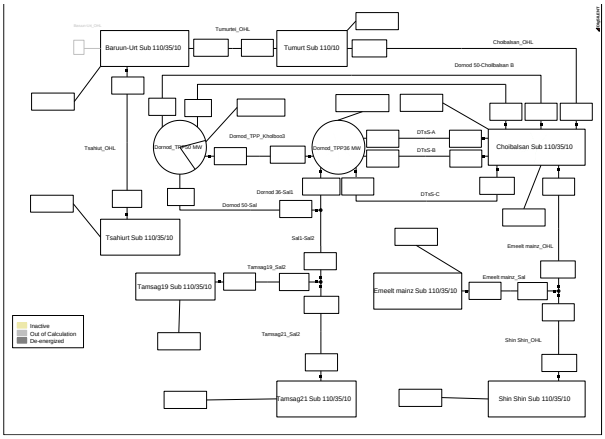


2-р зураг. Дорнод бүсийн ЭХС-ийн үйлчлэх хүрээ газар нутгаар.

В. Дигсайлент Поверфактори симуляцийн программын загвар ба хөгжүүлэлт

Дорнод бүсийн ЭХС-ийн өнөөгийн бүтэц, схемийн анхдагч өгөгдлийг ашиглан Поверфактори симуляцийн программын орчинд загварчлан, тогтсон горимын тооцоог судлах модуль (Load Flow)-ийг судалгаанд өргөн ашигласан болно [5].

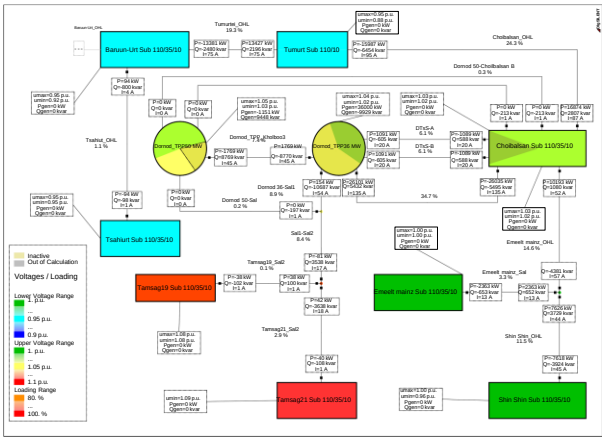
Судалгааны объектыг Поверфактори симуляцийн программын орчинд загварчлан системийн загварыг үүсгэн, түүнд хөгжүүлэлт хийсэн бөгөөд тус загварын дүрслэлийг Зураг 3-т үзүүлэв. Энэхүү үүсгэсэн системийн загварыг ашиглан шинээр ашиглалтад орох 300 МВт чадалтай ДЦС тус системийн горимд хэрхэн нөлөөлж байгааг судалсан болно.



3-р зураг. Поверфактори симуляцийн программын орчинд үүсгэсэн загвар.

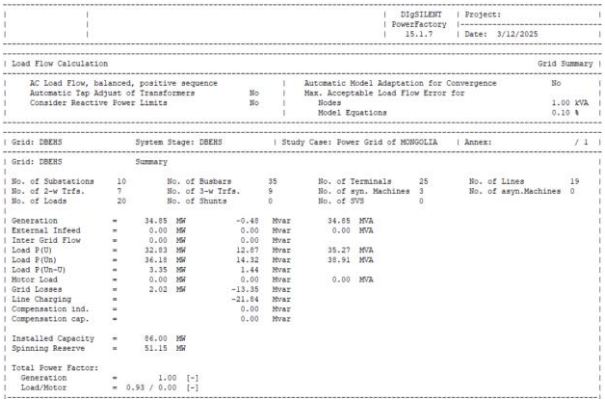
IV. ДОРНОД БҮСИЙН ЭХС-ИЙН ТОГТСОН ГОРИМЫН ТООЦОО БА ҮР ДҮН

Дорнод бүсийн ЭХС-ийн 110 кВ-ын сүлжээний горимын шинжилгээг гүйцэтгэхдээ симуляцийн программын орчинд боловсруулсан загварт тус системийн 2024 оны 12 сарын 19-ний өдрийн 19 цагийн ачааллын хэмжилтийн утгыг ашиглан тооцоог гүйцэтгэж үр дүнг зураг 4, 5-т үзүүлэв.



4-р зураг. Дорнод бүсийн ЭХС-ийн 110 кВ-ын дэд станцуудын хувьд харуулсан тогтсон горимын тооцооны үр дүн.

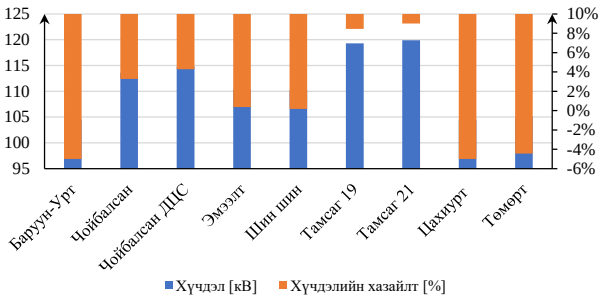
Горимын тооцооны үр дүнгээс үзвэл Дорнод бүсийн ЭХС-ийн эх үүсвэрүүд 34.85 МВт чадал үйлдвэрлэж, цахилгаан хэрэглэгчдийн нийлбэр ачаалал 32.83 МВт, системийн нийлбэр чадлын алдагдал 2.02 МВт байгаа нь сүлжээгээр дамжсан чадлын 5.79 % байна. Энэ үзүүлэлт ЦШС-ний горимын хувьд хэвийн байна. ДБЭХС-ийн 110 кВ-ын агаарын шугамуудын ачаалалт 1.1 – 24.3 %-ийн завсарт гарсан нь бага хэмжээнд ачаалагдаж байна. Трансформаторуудын ачаалагдах байдал 1.5 – 88.2 %-ийн завсарт байна. Баруун-Урт дэд станц хамгийн өндөр ачаалагдаж байгаа бөгөөд энэ хэвийн хэвийн зөвшөөрөгдөх хэмжээгээр ачаалагдаж байна.



```
|                                                    |  DIgSILENT    | Project:                    |
|                                                    | PowerFactory  |-----------------------------
|                                                    |   15.1.7      | Date:  3/12/2025            |
-----------------------------------------------------------------------------------------------------
| Load Flow Calculation                                                                Grid Summary |
-----------------------------------------------------------------------------------------------------
|    AC Load Flow, balanced, positive sequence          |   Automatic Model Adaptation for Convergence          No      |
|    Automatic Tap Adjust of Transformers          No   |   Max. Acceptable Load Flow Error for                         |
|    Consider Reactive Power Limits                No   |      Nodes                                      1.00 kVA  |
|                                                       |      Model Equations                            0.10 %    |
-----------------------------------------------------------------------------------------------------

| Grid: DBEHS                System Stage: DBEHS          | Study Case: Power Grid of MONGOLIA    | Annex:                  / 1 |
-----------------------------------------------------------------------------------------------------
| Grid: DBEHS                Summary
|
| No. of Substations     10        No. of Busbars       35        No. of Terminals      25        No. of Lines          19
| No. of 2-w Trfs.        7        No. of 3-w Trfs.      9        No. of syn. Machines  3         No. of asyn.Machines  0
| No. of Loads           20        No. of Shunts         0        No. of SVS            0
|
| Generation             =     34.85  MW          -0.48  Mvar       34.85  MVA
| External Infeed        =      0.00  MW           0.00  Mvar        0.00  MVA
| Inter Grid Flow        =      0.00  MW           0.00  Mvar
| Load P(U)              =     32.83  MW          12.87  Mvar       35.27  MVA
| Load P(Un)             =     36.18  MW          14.32  Mvar       38.91  MVA
| Load P(Un-U)           =      3.35  MW           1.44  Mvar
| Motor Load             =      0.00  MW           0.00  Mvar        0.00  MVA
| Grid Losses            =      2.02  MW         -13.35  Mvar
| Line Charging          =                       -21.84  Mvar
| Compensation ind.      =                         0.00  Mvar
| Compensation cap.      =                         0.00  Mvar
|
| Installed Capacity     =     86.00  MW
| Spinning Reserve       =     51.15  MW
|
| Total Power Factor:
|   Generation           =       1.00  [-]
|   Load/Motor           =  0.93 / 0.00  [-]
```

5-р зураг. Горимын тооцооны үйлдвэрлэл-хэрэглээний чадлын балансын үр дүн.

Тогтсон горимын тооцооны зангилааны хүчдэлийн хазайлтын үр дүнгээс үзэхэд 110 кВ-ын түвшинд хүчдэл их талдаа 0 – 9 %-ийн завсарт, бага талдаа 0 – 5 %-ийн завсарт хэвийн болон хязгаарын зөвшөөрөгдөх хазайлтын утгад гарсан байна (Зураг 6).



6-р зураг. Дорнод бүсийн ЭХС-ийн 110 кВ-ын дэд станцуудын хүчдэлийн график үр дүн.

V. АДУУНЧЛУУНЫ ДЦС ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ СИСТЕМД ХОЛБОГДСОН БАЙХ ҮЕИЙН ГОРИМЫН ТООЦОО, ҮР ДҮН

Адуунчлууны ДЦС эрчим хүчний системд холбогдсон байх үеийн тогтсон горимын тооцоог 2027 оны түвшинд гүйцэтгэсэн бөгөөд 220 кВ-ын хүчдэлийн түвшинд дараах дэд станц болон ЦДАШ-уудыг ашиглалтад орсон байхаар тооцов. Үүнд:

Шинээр баригдах эх үүсвэрүүд

- 450 МВт суурилагдсан хүчин чадалтай Бөөрөлжүүтийн цахилгаан станц;
- 300 МВт суурилагдсан хүчин чадалтай төслийн ДЦС;
- 150 МВт суурилагдсан хүчин чадалтай Тавантолгой ДЦС;
- 50 МВт суурилагдсан хүчин чадалтай 200 МВт.цаг бүхий багтаамжтай Багануурын БХС.

Шинээр баригдах 220, 110 кВ-ын дэд станцууд

- 2х63 МВА чадалтай 220/110/35 кВ-ын Чингис дэд станц;
- 2х63 МВА чадалтай 220/110/35 кВ-ын Чойбалсан дэд станц;
- 2х125 МВА чадалтай 220/110/35 кВ-ын Сэргэлэн дэд станц;
- 2х200 МВА чадалтай 220/110/35 кВ-ын Оюут дэд станц;
- 2х200 МВА чадалтай 220/110/35 кВ-ын Сайншанд дэд станц;
- 2х125 МВА чадалтай 220/110/35 кВ-ын Авзага дэд станц;
- 2х125 МВА чадалтай 220/110/10 кВ-ын төслийн үйлдвэрийн дэд станц;
- 2х40 МВА чадалтай 110/35/10 кВ-ын төслийн уурхайн дэд станц.

Шинээр баригдах ЦДАШ-ууд:

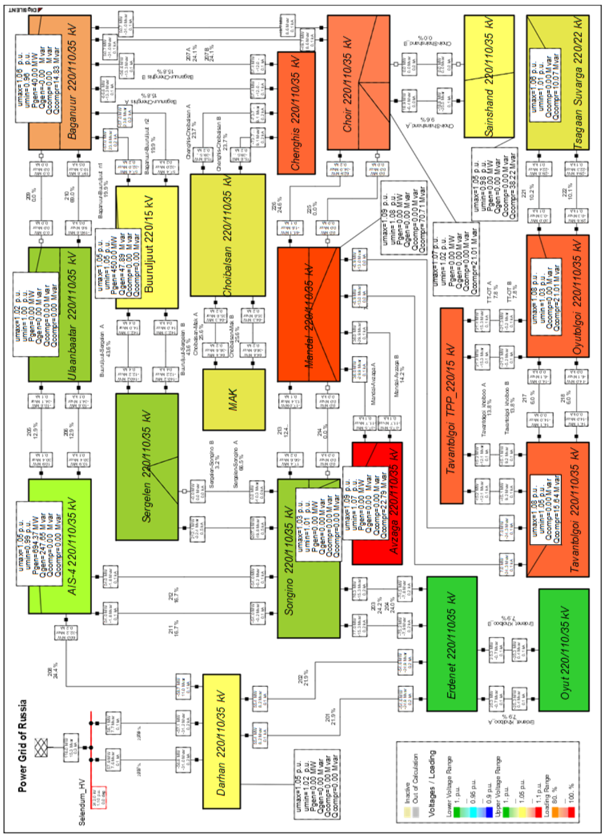
- Багануур-Чингис ДС-уудыг холбосон LGJ-400/50 маркийн утастай, 202 км урт хоёр хэлхээт 220 кВ-ын агаарын шугам;
- Чингис-Чойбалсан ДС-уудыг холбосон LGJ-400/50 маркийн утастай, 310 км урт хоёр хэлхээт 220 кВ-ын агаарын шугам;
- Чойбалсан-МАК ДС-уудыг холбосон LGJ-400/50 маркийн утастай, 10 км урт хоёр хэлхээт 220 кВ-ын агаарын шугам;
- Бөөрөлжүүт-Сэргэлэн ДС-уудыг холбосон АС-400/51 маркийн утастай, 87.2 км урт хоёр хэлхээт 220 кВ-ын агаарын шугам;
- Сонгино-Сэргэлэн ДС-уудыг холбосон АС-400/51 маркийн утастай, 73.4 км урт хоёр хэлхээт 220 кВ-ын агаарын шугам;
- Чойр-Сайншанд ДС-уудыг холбосон АС-400/51 маркийн утастай, 220.4 км урт хоёр хэлхээт 220 кВ-ын агаарын шугам;
- Мандал-Авзага ДС-уудыг холбосон АС-400/51 маркийн утастай, 287 км урт хоёр хэлхээт 220 кВ-ын агаарын шугам;
- МАК-МАК үйлдвэр ДС-уудыг холбосон LGJ-400/50 маркийн утастай, 1 км урт хоёр хэлхээт 220 кВ-ын агаарын шугам;
- Эрдэнэт-Оюут ДС-уудыг холбосон АС-400/51 маркийн утастай, 2.63 км урт хоёр хэлхээт 220 кВ-ын агаарын шугамуудыг орсон байхаар тус тус тооцов.

Мөн одоо ажиллаж байгаа ДЦС, НЦС, СЦС, БХС, УЦС зэрэг бүх эх үүсвэрүүдийг тооцож тогтсон горимын тооцоог гүйцэтгэсэн ба үр дүнг зураг 7, 8-д үзүүлэв.

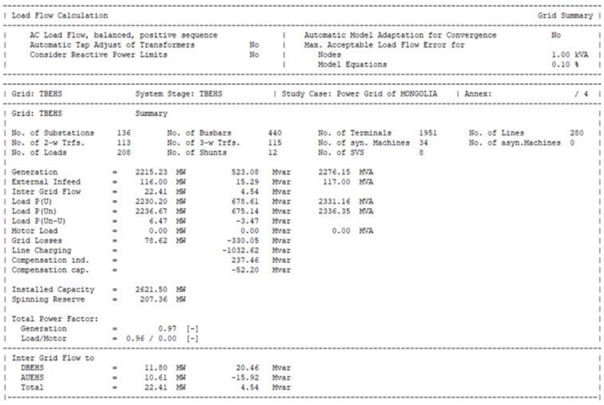
Тооцооны үр дүнгээс үзвэл системийн нийлбэр цахилгаан ачаалал нь 2331 МВт, дотоодын эх үүсвэрүүд 2215.23 МВт чадал үйлдвэрлэж, ОХУ-аас 116 МВт чадал авч, Алтай-Улиастайн ЭХС-рүү нийт 10.6 МВт чадал нийлүүлсэн байна. Адуунчлууны ДЦС-аас илүүдэл 168.8 МВт чадлыг Чойбалсан 220 кВ-ын цахилгаан шугам сүлжээгээр дамжуулан Дорнод болон Төвийн бүсийн ЭХС-лүү нийлүүлж байна. ТБЭХС-ийн цахилгаан хэрэглэгчдийн нийлбэр ачаалал 2230.2 МВт, системийн нийлбэр чадлын алдагдал 78.62 МВт байгаа нь сүлжээгээр

дамжсан чадлын 3.37 % байна. Энэ үзүүлэлт ЦШС-ний горимын хувьд хэвийн байна.

ТБЭХС-ийн 220 кВ-ын АШ-уудын ачаалалт 6 – 69 %-ийн завсарт гарсан. Агаарын шугамын ачаалалт урт хугацааны зөвшөөрөгдөх гүйдлийн хувьд хэвийн хэмжээнд байна. Трансформаторуудын ачаалагдах байдал 8 – 88 %-ийн завсарт байна. Энэ нь хэвийн зөвшөөрөгдөх хэмжээгээр ачаалагдаж байна.



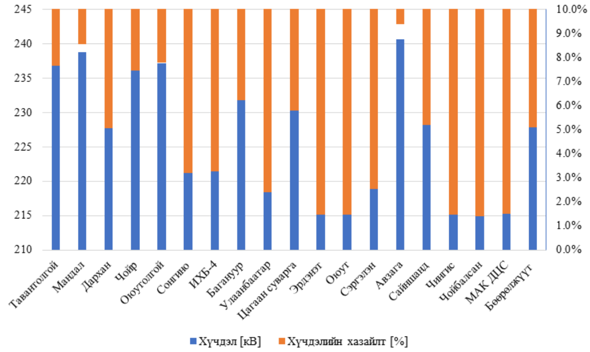
7-р зураг. Холболтын бүдүүвч схем (220 кВ-ын хүчдэлийн түвшинд).



```
| Load Flow Calculation                                                      Grid Summary |
|   AC Load Flow, balanced, positive sequence            | Automatic Model Adaptation for Convergence      No      |
|   Automatic Tap Adjust of Transformers          No     | Max. Acceptable Load Flow Error for                     |
|   Consider Reactive Power Limits                No     |    Nodes                                    1.00 kVA    |
|                                                        |    Model Equations                          0.10 %      |
| Grid: TBEHS          System Stage: TBEHS       | Study Case: Power Grid of MONGOLIA    | Annex:           / 4 |
| Grid: TBEHS          Summary                                                                                    |
| No. of Substations     136   No. of Busbars     440   No. of Terminals       1951   No. of Lines          280 |
| No. of 2-w Trfs.       113   No. of 3-w Trfs.   115   No. of syn. Machines   34     No. of asyn.Machines  0   |
| No. of Loads           208   No. of Shunts      12    No. of SVS             8                              |
| Generation          =   2215.23  MW       523.08  Mvar     2276.15  MVA |
| External Infeed     =    116.00  MW        15.29  Mvar      117.00  MVA |
| Inter Grid Flow     =     22.41  MW         4.54  Mvar                   |
| Load P(U)           =   2230.20  MW       678.61  Mvar     2331.16  MVA |
| Load P(Un)          =   2236.67  MW       675.14  Mvar     2336.35  MVA |
| Load P(Un-U)        =      6.47  MW        -3.47  Mvar                   |
| Motor Load          =      0.00  MW         0.00  Mvar        0.00  MVA |
| Grid Losses         =     78.62  MW      -330.05  Mvar                   |
| Line Charging       =                   -1032.62  Mvar                   |
| Compensation ind.   =                     237.46  Mvar                   |
| Compensation cap.   =                     -52.20  Mvar                   |
| Installed Capacity  =   2621.50  MW                                      |
| Spinning Reserve    =    207.36  MW                                      |
| Total Power Factor:                                                      |
|   Generation        =        0.97  [-]                                   |
|   Load/Motor        = 0.96 / 0.00  [-]                                   |
| Inter Grid Flow to                                                       |
|   DBEHS             =     11.80  MW        20.46  Mvar                   |
|   AUEHS             =     10.61  MW       -15.92  Mvar                   |
|   Total             =     22.41  MW         4.54  Mvar                   |
```

8-р зураг. Горимын тооцооны үйлдвэрлэл-хэрэглээний чадлын балансын үр дүн.

Тогтсон горимын тооцооны зангилааны хүчдэлийн хазайлтын үр дүнгээс үзэхэд 220 кВ-ын түвшинд хүчдэл нэмэх талдаа 0.1 – 9.4 %-ийн завсарт байна. Үүнээс Авзага, Мандал, Тавантолгой, Оюутолгой ДС-уудын хүчдэл 7.5 – 9.6 %-тай байна. 220 кВ-ын дэд станцуудын хүчдэлийн горимын тооцооны болон хүчдэлийн хазайлтын утгуудыг Зураг 9-т үзүүлэв.



9-р зураг. ТБЭХС-ийн 220 кВ-ын дэд станцуудын хүчдэлийн график үр дүн.

Дүгнэлт

Адуунчулууны 300 МВт чадалтай дулааны цахилгаан станц эрчим хүчний системд холбогдох үеийн горимын тооцооны үр дүнд дараах дүгнэлтийг хийж байна.

Дорнод бүсийн ЭХС-ийн 2024 оны өвлийн их ачааллын горимын тооцооны үр дүнгээс үзвэл эх үүсвэрүүд 34.85 МВт чадал үйлдвэрлэж, цахилгаан хэрэглэгчдийн нийлбэр ачаалал 32.83 МВт, системийн нийлбэр чадлын алдагдал 2.02 МВт байгаа нь сүлжээгээр дамжсан чадлын 5.79 % байна. Агаарын шугамуудын ачаалалт 1.1 – 24.3 %-ийн завсарт, трансформаторуудын ачаалагдах байдал 1.5 – 88.2 %-ийн завсарт хэвийн хэмжээнд байна. зангилааны хүчдэлийн хазайлтын үр дүнгээс үзэхэд 110 кВ-ын түвшинд хүчдэл их талдаа 0 – 9 %-ийн завсарт, бага талдаа 0 – 5 %-ийн завсарт байгаа нь хэвийн горимын нөхцөлийг хангаж байна.

Шинээр ашиглалтад орох Адуунчулууны ДЦС эрчим хүчний системд холбогдсон байх үеийн тогтсон горимын тооцоог гүйцэтгэхэд системийн нийлбэр цахилгаан ачаалал нь 2331 МВт, дотоодын эх үүсвэрүүд 2215 МВт чадал үйлдвэрлэж, ОХУ-аас 116 МВт чадал авч, Алтай-Улиастайн ЭХС-рүү нийт 10.6 МВт чадал нийлүүлсэн байна. Төслийн ДЦС-аас илүүдэл 168.8 МВт чадлыг Чойбалсан 220 кВ-ын цахилгаан шугам сүлжээгээр дамжуулан Дорнод болон Төвийн бүсийн ЭХС-лүү нийлүүлж байна. Тус цахилгаан станц нь уурхайн цахилгаан хэрэглэгчдийг эрчим хүчээр хангахаас гадна эрчим хүчний системд илүүдэл 170-180 МВт чадлыг нийлүүлэх бүрэн боломжтой байна. ТБЭХС-ийн цахилгаан хэрэглэгчдийн нийлбэр ачаалал 2230 МВт, системийн нийлбэр чадлын алдагдал 78.62 МВт байгаа нь сүлжээгээр дамжсан чадлын 3.37 % байна. Энэ үзүүлэлт ЦШС-ний горимын хувьд хэвийн байна. ТБЭХС-ийн 220 кВ-ын агаарын шугамуудын ачаалалт 6 – 69 %-ийн завсарт байгаа нь урт хугацааны зөвшөөрөгдөх гүйдлийн хувьд хэвийн хэмжээнд байна. Трансформаторуудын ачаалалт 8 – 88 %-ийн завсарт байна. Энэ нь хэвийн зөвшөөрөгдөх хэмжээгээр ачаалагдаж байна. Тогтсон горимын

тооцооны зангилааны хүчдэлийн хазайлтын үр дүнгээс үзэхэд 220 кВ-ын түвшинд хүчдэл нэмэх талдаа 0.1 – 9.4 %-ийн завсарт байгаа нь зөвшөөрөгдөх хязгаарын утгад байна. Адуунчулууны ДЦС эрчим хүчний системд холбогдсоноор тогтсон горимын үр дүнд эерэг нөлөө үзүүлж байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] P. Kundur, J. Paserba, V. Ajjarapu, G. Andersson, A.Bose, C. Canizares, N. Hatziargyriou, D. Hill, A.Stankovic, C. Taylor, T. Cutsem and V. Vittal,'Definition and Classification of Power System Stability', IEEE transaction on power systems, vol.

[2] Н.Ю. Рубан, А.Б. Аскаров, М.В. Андреев, А.В. Киевец, В.Е. Рудник, Анализ влияния возобновляемых источников энергии с силовыми преобразователями на процессы в современных энергосистемах, [Электротехника, информационные технологии, системы управления] №36. Россия 2020. DOI: 10.15593/2224-9397/2020.4.01

[3] Garces, Alejandro. (2018). “On Convergence of Newtons Method in Power Flow Study for DC Microgrids”. IEEE Transactions on Power Systems, doi:10.1109/TPWRS.2018.

[4] Elrayyah, Ali; Sozer, Yilmaz; Elbuluk, Malik E, “A Novel Load-Flow Analysis for Stable and Optimized Microgrid Operation”. IEEE Transactions on Power Delivery, 29(4), 1709–1717. doi:10.1109/tpwrd.2014.

[5] T. L. Vandoorn, B. Meersman, J. D. M. De Kooning, and L. Vandevelde, “Analogy between conventional grid control and islanded microgrid control based on a global DC-link voltage droop,” IEEE Trans. Power Del., vol. 27, no. 3, pp. 1405–1414, Jul. 2012.

[6] M. Z. Kamh and R. Iravani, “Unbalanced model and power flow analysis of microgrids and activedistribution systems,” IEEE Trans. Power Del., vol. 25, no. 4, pp. 2851–2858, Oct. 2010.

[7] T. Senjyu, Y. Miyazato, A. Yona, N. Urasaki, and T. Funabashi, “Optimal distribution voltage control and coordination with distributed generation,” IEEE Trans. Power Del., vol. 23, no. 2, pp. 1236–1242, Apr. 2008.

[8] W. El-Khattam, Y. G. Hegazy, and M. M. A. Salama, “An integrated distributed generation optimization model for distribution system planning,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 20, no. 2, pp. 1158–1165, May 2005.

[9] K. De Brabandere, B. Bolsens, J. Van den Keybus, A. Woyte, J. Driesen, R. Belmans, and K. U. Leuven, “An integrated distributed generation optimization model for distribution system planning,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 20, no. 2, pp. 1158–1165, May 2007.

[10] P. N. Vovos, A. E. Kiprakis, A. R. Wallace, and G. P. Harrison, “Centralized and distributed voltage control: Impact on distributed generation penetration,” IEEE Trans. PowerSyst.,vol. 22,no. 1, pp.476–483, Feb. 2007.

[11] F. Mumtaz, M. H. Syed, M. A. Hosani, and H. H. Zeineldin, “A novel approach to solve power flow for islanded microgrids using modified newton raphson with droop control of dg,” IEEE Transactions on Sustainable Energy, vol. 7, no. 2, pp. 493–503, April 2016.

[12] B. Stott, J. Jardim, and O. Alsac, “Dc power flow revisited,” IEEE Transactions on Power Systems, vol. 24, no. 3, pp. 1290–1300, Aug 2009.

[13] A. Garces, “A linear three-phase load flow for power distribution systems,” Power Systems, IEEE Transactions on, vol. PP, no. 99, pp. 1–2, 2015.

[14] S. Sanchez, R. Ortega, R. Grino, G. Bergna, and M. Molinas, “Conditions for existence of equilibria of systems with constant power loads,” IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, vol. 61, no. 7, pp. 2204–2211, July 2014.

[15] S. Bolognani and S. Zampieri, “On the existence and linear approximation of the power flow solution in power distribution networks,” Power Systems, IEEE Transactions on, vol. PP, no. 99, pp. 1–10, 2015.

АЯЛАЛ ЖУУЛЧЛАЛЫН ЗОРИУЛАЛТТАЙ ЦОМЦОГ ГЭРИЙН ХАЛААЛТЫН СИСТЕМҮҮДИЙН ХАРЬЦУУЛСАН СУДАЛГАА

Энхбаатарын ЖАВХЛАНТӨГС[1], Мажигийн ГАНХҮЛЭГ[1], Эрдэнэбатын МӨНХТУЯА[1], Гансүхийн МӨНГӨНШАГАЙ[1*]

[1]Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Шинэ, Сэргээгдэх эрчим хүчний салбар

**Холбогдох зохиогчийн и-мэйл хаяг: mungunshagai@must.edu.mn[1]*

***Хураангуй*: Монгол Улсын эрс тэс уур амьсгал нь дулаан хангамжийг оновчтой шийдвэрлэх шаардлагыг бий болгож байна. Гэр хорооллын ихэнх өрхүүд нүүрс, сайжруулсан түлш ашигладаг нь агаарын бохирдлыг нэмэгдүүлж, хүн эрүүл мэндэд сөрөг нөлөө үзүүлж байна. 2015–2025 оны хооронд Улаанбаатар хотод агаарын бохирдлын нөлөөгөөр амьсгалын замын өвчлөл 2.7 дахин нэмэгдэж, хүүхдүүдийн уушгины үйл ажиллагаа хөдөө орон нутгийнхтай харьцуулахад 40%-иар буурсан бөгөөд уушгины хатгалгаа нь тав хүртэлх насны хүүхдийн нас баралтын хоёр дахь гол шалтгаан болоод байна (UNICEF, 2024). Засгийн газраас хэрэгжүүлсэн "Шөнийн тарифын хөнгөлөлт" хөтөлбөр нь цахилгаан халаалтыг дэмжих зорилготой байсан ч цахилгаан шугам сүлжээний ачаалал нэмэгдэх зэрэг хүндрэл гарсан. Судалгааны үр дүнгээс харахад, дулааны насос нь уламжлалт цахилгаан халаагуураас 31.5%-иар бага эрчим хүч хэрэглэж, илүү үр ашигтай болохыг харуулж байна. Нарны цахилгаан үүсгүүрийг дулааны насосны системтэй хослуулснаар эрчим хүчний хэмнэлт, эдийн засгийн үр ашгийг нэмэгдүүлэх боломжтой ба энэ тохиолдолд эргэн төлөгдөх хугацааг 30.6%-иар богиносдог. Цахилгаан халаалт, дулааны насос, нарны цахилгаан үүсгүүрийн хослол нь агаарын бохирдлыг бууруулах, өрхийн санхүүгийн дарамтыг багасгах, эрчим хүчний хэрэглээг оновчтой болгох, сэргээгдэх эрчим хүчийг өргөнөөр нэвтрүүлэх давуу талтай. Иймд цахилгаан халаалтын шинэ технологийг өргөн хүрээнд нэвтрүүлэх, ухаалаг зохицуулалт хийх нь Монгол Улсын эрчим хүчний тогтвортой хөгжлийг хангахад чухал ач холбогдолтой юм.**

Түлхүүр үг: Цомцог гэр, дулааны насос, цахилгаан халаагуур, орчны температур, нарны цахилгаан үүсгүүр, цахилгаан хэрэглээ

I. ОРШИЛ

Монгол Улсын эрс тэс уур амьсгалтай нөхцөл нь орон сууц болон гэр хорооллын дулаан хангамжийг оновчтой шийдвэрлэх шаардлагыг бий болгож байна. Өвлийн улиралд орчны температур -40°C хүртэл хүйтэрч, дулааны алдагдал ихтэй гэр хорооллын бүсэд иргэдийн амьдралын чанарт сөргөөр нөлөөлдөг. Үндэсний Статистикийн Хорооны 2020 оны мэдээллээс харахад Монгол Улсад нийт 342,409 гэр сууц бүртгэгдсэн бөгөөд эдгээрийн дийлэнх нь уламжлалт нүүрс болон сайжруулсан түлшээр халаалтаа шийддэг байна [1]. Гэвч нүүрс болон сайжруулсан түлш ашиглах нь агаарын бохирдлыг ихээхэн нэмэгдүүлж, орчны тоосонцрын хэмжээ зөвшөөрөгдөх хэмжээнээс хэд дахин өндөр гарах нөхцөл бүрдүүлдэг. Энэ нь амьсгалын замын өвчлөл, зүрх судасны өвчин, харшил зэргийг нэмэгдүүлж, нийтийн эрүүл мэндэд ноцтой аюул учруулж байна. Нөгөөтээгүүр, уламжлалт халаалтын системүүд нь түлшний өндөр зардалтай бөгөөд өрхийн эдийн засагт хүндрэл учруулж, эрчим хүчний хэмнэлтгүй хэрэглээг бий болгож байгаа.

Монгол Улсын Засгийн газрын 2017 оны 7 дугаар сарын 4-ний өдрийн 199 дүгээр тогтоолын дагуу агаарын бохирдлыг бууруулах зорилгоор "Шөнийн тарифын хөнгөлөлт" хөтөлбөрийг хэрэгжүүлж эхэлсэн. Энэхүү хөтөлбөрийн хүрээнд орон сууцны айл өрхүүдэд орой 21:00 цагаас өглөөний 6:00 цаг хүртэлх хугацаанд цахилгааны үнийн хөнгөлөлт үзүүлэхээр зохицуулсан. Хөнгөлөлтийн хувь нь хэрэглээнээс хамааран ялгаатай бөгөөд бага хэрэглээтэй өрхүүдэд 100 хувь, харин суурь хэрэглээнээс давсан хэрэглээнд 50 хувийн хөнгөлөлт үзүүлэх нөхцөлтэй.

Энэхүү хөнгөлөлт нь агаарын бохирдол өндөртэй бүс нутгуудыг хамарч, аймгийн төв, 10 мянгаас дээш хүн амтай хороололд амьдардаг, өдөр, шөнийн тарифын тоолууртай, цахилгааны төлбөрийн өргүй гэх мэт шалгуурыг хангасан өрхүүдэд нэмэлт 50 хувийн хөнгөлөлт олгох боломжтой.

Тиймээс Монгол Улсад сэргээгдэх эрчим хүч ашиглан халаалтын системийг сайжруулах, цахилгаан халаагуур болон дулааны насос зэрэг шинэ технологийг нэвтрүүлэх замаар агаарын бохирдлыг бууруулах, эрчим хүчний хэмнэлтийг нэмэгдүүлэх шаардлагатай байна. Эрчим хүчний үнийн бодлого, цахилгаан халаалтын эдийн засгийн үр ашигтай байдлыг нарийвчлан судлах нь чухал. Цахилгаан халаалт нь орчны бохирдолгүй, суурилуулахад хялбар, ашиглахад аюулгүй, автомат хяналтын системтэй зэрэг олон давуу талтай боловч цахилгааны хэрэглээ өндөртэй тул хэрэглэгчийн зардалд шууд нөлөөлдөг.

Монгол Улсын эрчим хүчний үнийн зохицуулалт нь Эрчим Хүчний Зохицуулах Хороо (ЭХЗХ)-ны бодлоготой уялдаж, хэрэглээний түвшин, өдрийн болон шөнийн цагийн тарифын ялгаатай байдлаар тогтоогддог (1-р хүснэгтэд үзүүлэв).

АЙЛ ӨРХӨЛ БОРЛУУЛАХ ЦАХИЛГААНЫ ӨМНӨХ БОЛОН ШИНЭ ТАРИФ

1-Р ХҮСНЭГТ

№	Ангилал	Хэмжих нэгж	Тариф
1	**2 тарифт тоолууртай өмнөх тариф**		
а	Өдрийн хэрэглээ /өглөөний 06:00 цагаас шөнийн 21:00 цаг хүртэл/	Төг/кВт.ц	105.8
б	Орой, шөнийн хэрэглээ /оройн 21:00 цагаас өглөөний 00:00 цаг хүртэл/	Төг/кВт.ц	78.6
2	**2 тарифт тоолууртай шинэчлэгдсэн тариф**		
2.1	Сарын нийт хэрэглээний 150 кВт.ц-аас ихгүй хэрэглээг		
а	Өдрийн хэрэглээ /06:00 цагаас 21:00 цаг хүртэл/	Төг/кВт.ц	182.0
б	Орой, шөнийн хэрэглээг /21:00 цагаас 06:00 цаг хүртэл/	Төг/кВт.ц	147.0
2.2	Сарын нийт хэрэглээний 150 кВт.ц-аас их, 300 кВт.ц-аас ихгүй хэрэглээг		
а	Өдрийн хэрэглээ /06:00 цагаас 21:00 цаг хүртэл/	Төг/кВт.ц	225.00
б	Орой, шөнийн хэрэглээг /21:00 цагаас 06:00 цаг хүртэл/	Төг/кВт.ц	160.0
2.3	Сарын нийт хэрэглээний 300 кВт.ц-аас иххэрэглээг		
а	Өдрийн хэрэглээ /06:00 цагаас 21:00 цаг хүртэл/	Төг/кВт.ц	265.00
б	Орой, шөнийн хэрэглээг /21:00 цагаас 06:00 цаг хүртэл/	Төг/кВт.ц	160.0

Засгийн газраас агаарын бохирдлыг бууруулах бодлогын хүрээнд цахилгаан халаагуур ашиглаж буй айл өрхүүдэд зориулан шөнийн тарифыг тэглэх арга хэмжээг хэрэгжүүлж байгаа бөгөөд энэ нь агаарын бохирдол ихтэй бүсүүдэд төвлөрч байна [3] [4]. Уг бодлого нь цахилгаан халаалтыг өргөн хэрэглээнд нэвтрүүлэх, уламжлалт нүүрс түлэхээс татгалзах, агаарын бохирдлыг бууруулахад үр дүнтэй чухал арга хэмжээ болж байгаа юм.

Гэсэн хэдий ч энэхүү тэглэсэн тарифын хүртээмж, урт хугацааны санхүүгийн тогтвортой байдал нь тодорхойгүй хэвээр байна. Нэгдүгээрт, хөнгөлөлтөд хамрагдах өрхийн хүрээ, сонголтын шалгуур тодорхой байх шаардлагатай. Хоёрдугаарт, энэхүү бодлого нь улсын төсөвт хэрхэн нөлөөлөх, цаашид тогтвортой үргэлжлэх эсэх нь эргэлзээтэй асуудал хэвээр байна. Гуравдугаарт, цахилгаан эрчим хүчний хангамж, дэд бүтцийн хүчин чадал, цахилгаан халаагуурын эрчим хүчний ачааллыг даах боломжийг сайтар тооцоолох шаардлагатай.

Цахилгаан халаалтын хэрэглээг тогтвортой дэмжихийн тулд зөвхөн тарифын хөнгөлөлтөөр хязгаарлахгүйгээр сэргээгдэх эрчим хүчний нэгдсэн системийг бүрдүүлэх, хэмнэлттэй тоног төхөөрөмжийг нэвтрүүлэх, эрчим хүчний ухаалаг менежментийг хэрэгжүүлэх зэрэг цогц арга хэмжээг авч хэрэгжүүлэх шаардлагатай. Үүний тулд хэрэглэгчийн зардлын тооцоолол, үнийн бодлогын судалгаа, сэргээгдэх эрчим хүчтэй уялдсан стратеги боловсруулах нь чухал. Мөн эрчим хүчний үр ашгийг нэмэгдүүлэх, сэргээгдэх эрчим хүчийг нэгдсэн сүлжээнд үр дүнтэй ашиглах боломжийг өргөжүүлэх нь цахилгаан халаалтын өрсөлдөх чадварыг сайжруулах гол хүчин зүйлсийн нэг болно.

Цахилгаан халаалтын хэрэглээ өвлийн улиралд огцом нэмэгдэж, үнийн бодлого болон тарифын зохицуулалтаас хамааран айл өрхүүдэд санхүүгийн дарамт учруулах эрсдэлтэй. Иймээс энэхүү судалгаагаар цахилгааны үнийн бодлого, халаалтын хэрэглээний оновчтой шийдэл, сэргээгдэх эрчим хүчийг өрхийн цахилгаан хэрэглээнд нэвтрүүлэх боломж, эдийн засгийн үр ашгийг нарийвчлан судлахыг зорьж байна. Ингэснээр цахилгаан халаалтын өрсөлдөх чадварыг нэмэгдүүлж, айл өрхүүдийн санхүүгийн ачааллыг бууруулах боломж бүрдэх юм.

II. СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

A. Цомцог гэрийн халаалтын туршилт

Туршилтыг Шинжлэх Ухааны Технологийн Их Сургуулийн (ШУТИС) Эрчим Хүчний Инженерчлэлийн Сургуулийн (ЭХИС) Шинэ Сэргээгдэх Эрчим Хүчний Салбарын судалгааны лабораторид байрлах 30 м.кв талбайтай цомцог гэрт хийсэн. Уг туршилтанд 4 төрлийн халаагуурыг ашиглаж, тус бүр нэг хоногийн хугацаатайгаар ажиллуулан хэмжилт хийсэн (ерөнхий мэдээллийг 2-р хүснэгтэд үзүүлэв). Хэмжилтийг ЮрикаМетер смарт хэмжигчийг ашиглан 10 минутын зайтай тогтмол хэмжсэн. Гэрийн гадна болон доторх температурын хэмжиж, үр дүнг боловсруулсан.

Хэмжилтийг 2025 оны 2-р сарын 21-25 өдөр хүртэл нэг нэг хоногийн хугацаатайгаар 4 төрлийн халаагуур тус бүрд хийсэн.

B. Монгол гэрт амьдардаг өрхийн нүүрсний болон цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээний судалгаа

Судалгаанд "Айл-1:Уулын айл", "Айл-2: Зураач", "Айл-3: Таван гэр" гэсэн гурван төрлийн айлын сар бүрийн нүүрсний болон цахилгаанаар халдаг үеийн цахилгаан хэрэглээг авч судалсан (4-р хүснэгтэд үзүүлсэн). Гэр хорооллын айл өрхийн цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээг "Улаанбаатар цахилгаан түгээх сүлжээ" ТӨХК-ийн цахим хуудаснаас эзэмшигчийн зөвшөөрөлтэйгөөр авсан [5].

Цахилгааны төхөөрөмжүүдэд тохирсон нарны цахилгаан үүсгүүр (НЦҮ) болон цахилгаан хураагуур бүхий системийн симуляцийг System Advisor Model (SAM) программ хангамжийг ашиглан гүйцэтгэсэн. Монгол гэрийн цахилгаан хэрэглээг хангах судалгаагаар айл өрхийн цахилгаан

хэрэглээнд НЦҮ-ийн суурилагдсан хүчин чадал 2-5 кВт, батарей хураагуурын багтаамж 4-9 кВт.ц хооронд суурилуулах нь хамгийн үр дүнтэй гэдгийг тогтоосон[6],[7]. Мөн халаагуурын цахилгаан хэрэглээнд НЦҮ-г ашигласнаар эргэн төлөгдөх хугацаанд хэрхэн нөлөөлж байгааг судалсан.

Дулаан насосны цахилгааны жилийн хэрэглээ:

$$A = (B - T)/COP + T \quad (1)$$

A- Дулаан насосын жилийн хэрэглээ, кВт.ц/жил

B-Цахилгаанаар халаалтад шилжсэний дараах хэрэглээ, кВт.ц/жил

T-Нүүрсээр халдаг үеийн цахилгааны хэрэглээ, кВт.ц/жил

COP- Дулаан насосын ашигт үйлийн коэффициент

Энгийн эргэн төлөгдөх хугацаа [8]:

$$LCOE = TLCC \div \{\sum_{n=1}^{N}[Q_n \div (1+d)^n]\} \quad (2)$$

LCOE- Эрчим хүчний тэгшитгэсэн өртөг

TLCC- Нийт ашиглалтын хугацааны зардал

Q_n- n дахь жилийн эрчим хүчний хэмнэлт

d- Хөнгөлөлтийн хувь

N- Шинжилгээний хугацаа

ТУРШИЛТАД АШИГЛАГДСАН ТӨХӨӨРӨМЖИЙН МЭДЭЭЛЭЛ

2-Р ХҮСНЭГТ

Төхөөрөмж	Модель	COP	Ажиллах нөхцөл	Чадал, кВт
Дулаан насос	AOKOL	1.2	4 улирал (-35℃-)	2.1
Цахилгаан халаагуур 1	Нинбо Цинюань цахилгаан технологи ХХК	1	Халаалтын улиралд	1.3
Цахилгаан халаагуур 2	Инфра халаагуур	1	Халаалтын улиралд	1
Цахилгаан халаагуур 3	Ердийн	1	Халаалтын улиралд	2

SAM СИМУЛЯЦИД АШИГЛАСАН НЦҮ-ИЙН ҮЗҮҮЛЭЛТ

3-Р ХҮСНЭГТ

№	Үзүүлэлт	Хэмжих нэгж	Нарны цахилгаан үүсгүүртэй систем	НЦҮ ба дулаан насостой систем
1	НЦҮ-ийн суурилагдсан хүчин чадал	кВт	3	2
2	Батарей	кВт.ц	9.6	4.6
3	Жилд үйлдвэрлэх ЦЭХ	кВт.ц/жил	4,456	2,843

ГЭР ХОРООЛЛЫН АЙЛЫН НҮҮРСЭЭР ХАЛДАГ БОЛОН ЦАХИЛГААНААР ХАЛДАГ ҮЕИЙН ЦАХИЛГААН ЗАРЦУУЛАЛТ

4-Р ХҮСНЭГТ

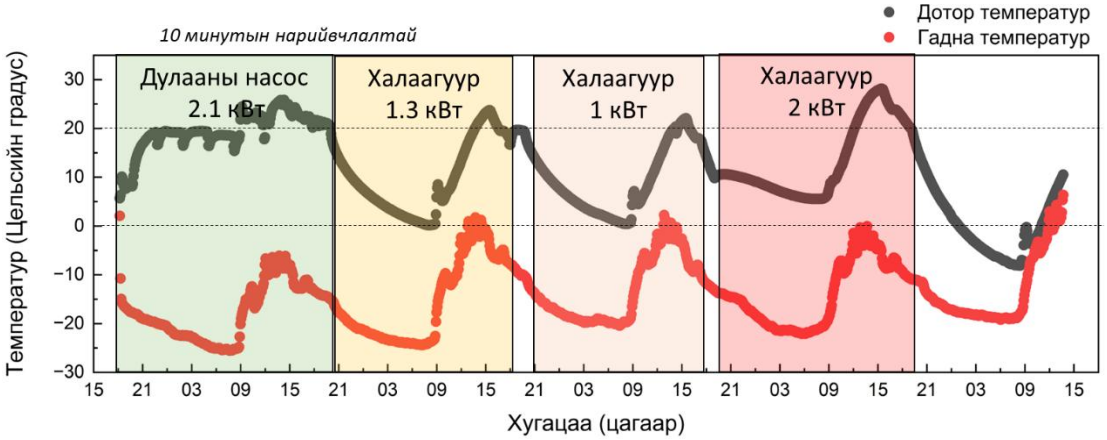
Сарууд	Нүүрсээр халдаг, [кВт.ц]	Цахилгаанаар халдаг, [кВт.ц]
1	248.9	951.8
2	218.2	664.6
3	180.9	595.9
4	173.3	541.9
5	239.03	474.8
6	188.3	367.2
7	233.5	383.58
8	239.5	368.8
9	220.1	353.9
10	223.5	459.5
11	216.1	705.8
12	170	1039.2
Нийт	**2551.4**	**6907.2**

III. ҮР ДҮН

A. Халаагуурын төхөөрөмжүүдийн хэмжилт, харьцуулалт

ЭХИС-ийн Шинэ, Сэргээгдэх Эрчим Хүчний Салбарын Т-Байрны дээвэрт байрлах судалгааны лабораторид байрлах 30 м^2 талбайтай цомцог гэрт дөрвөн өөр халаагуур ашиглан дөрвөн өдрийн хугацаанд туршилт хийж, үр дүнг 1-р зурагт үзүүлэв.

Дулааны насосын үр дүнгээс харвал гадна болон дотор агаарын температурын зөрүү их байгаа үед гэрийн дотор температур тогтмол 20-25 ^{0}C хооронд байгаа нь уг төхөөрөмж сайн ажиллаж буйг илтгэж байна. Харин 1 кВт, 1.3 кВт, 2 кВт хүчин чадалтай



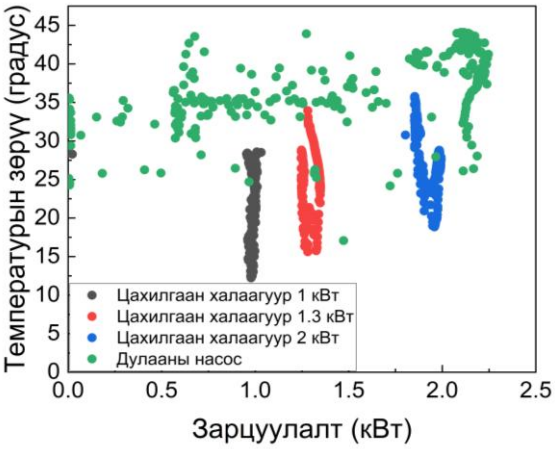
1-р зураг. Агаарын дулаан насос ба халаалтын төхөөрөмжийн хэмжилт (2025.2.21~25)

цахилгаан халаагуурын хувьд гадна агаарын хэм хүйтрэхэд дотор орчны температур мөн тогтворгүй, бага хэмд байгаа нь эдгээр төхөөрөмж ашигтай ажиллахгүй байгааг харуулж байна.

Дулааны насос болон 3 төрлийн 1 кВт, 1.3 кВт, 2 кВт хүчин чадалтай цахилгаан халаагуурын эрчим хүчний зарцуулалтыг хэмжиж харьцуулсан.

Туршилтын хугацаанд гадна агаарын хамгийн их температур -25.5 ^{0}C хүрсэн. Хэмжилтийн үр дүнгээс харахад дулаан насос нь илүү үр ашигтай, дотор агаарын температурыг илүү тогтвортой байлгаж ажилласан байна.

B. Цахилгаан халаагуур болон дулааны насосны харьцуулалт



2-р зураг. Халаагуурын төхөөрөмжийн цахилгаан зарцуулалт ба температурын зөрүү хоорондын хамаарал.

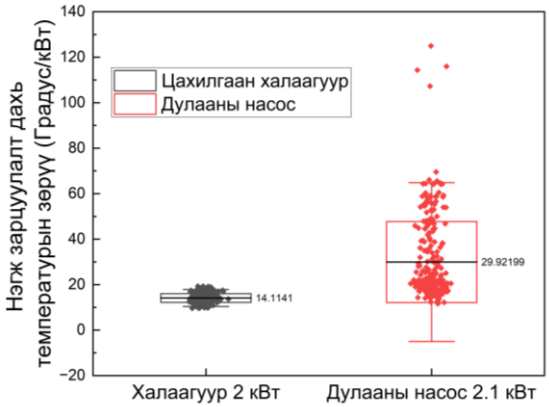
Дулааны насос болон цахилгаан халаагууруудын нэгж градуст зарцуулж буй цахилгаан энергийг 2-р зурагт үзүүлэв.

Цахилгаан зарцуулалт: Энэ нь тухайн төхөөрөмжийн цахилгаан хэрэглээг хэмжиж байгаа тэнхлэг юм. Цахилгаан зарцуулалт нь халаах процессын хугацаанд хэр их эрчим хүч шаардлагатай байгааг харуулдаг.

Температурын зөрүү: Энэ тэнхлэг нь орчны температурын зөрүүг илэрхийлнэ. Орчны гадна болон доторх температурын ялгаа нь халаагуурын ажиллах үр ашигт нөлөөлдөг.

Ихэнх тохиолдолд, температурын зөрүү ихсэх тусам цахилгаан зарцуулалт нэмэгдэнэ. 2-р зурагт халаагуурын хэрэглээ хэрхэн температурын зөрүүтэй харьцангуй өсөж буйг харж болно. Өдрийн цагт нарны илчээр гадна агаарын ба гэр доторх орчны температурын зөрүү багасах ба энэ үед төхөөрөмжийн цахилгаан зарцуулалтын хэмжээ буурч байгааг харж болно. Энэ нөхцөлд агаарын дулааны насосны хувьд эрчим хүчний зарцуулалт буурч, тогтмол чадлаар ажиллаж байсан. Дээрх 3 өөр хүчин чадалтай цахилгаан халаагуурын хувьд өдрийн цагаар гадна дотор орчны температурын зөрүү буурч, цахилгааны зарцуулалт мөн адил багассан. Харин шөнийн цагт гадна, дотор орчны температурын зөрүү ихсэж, цахилгааны зарцуулалт өссөн үзүүлэлттэй гарсан.

Дараах зурагт 2 кВт чадалтай цахилгаан халаагуур ба 2,1 кВт чадалтай агаарын дулааны насосны нэгж зарцуулалт, гаргаж буй температурын дундаж утгыг үзүүлсэн.



3-р зураг. Халаагуурын төхөөрөмжийн цахилгаан зарцуулалт ба температурын зөрүү хоорондын хамаарлын дундажласан утга

3-р зургаас харахад 2.1 кВт-ын агаарын дулааны насос нь ойролцоо хэмжээний 2 кВт чадалтай цахилгаан халаагуураас даруй 2.1 дахин их температурын зөрүү үүсгэж байна. Дулаан насосын ашигт ажиллагаа нь 300% хүрж байгаа нь судалгаагаар батлагдсан [9]. Энэ нь Англид хэрэгжиж буй дулааны насосын нэвтрүүлэлттэй ойролцоо үр дүнтэй байна [10].

Дулааны насосны нэгж зарцуулалт тутамд үүсгэж буй гадна дотор агаарын температурын зөрүү нь цахилгаан халаагуураас өндөр байгаа нь туршилтын утгаас харагдсан.

C. Халаалтын төхөөрөмжийн цахилгааны хэрэглээг нарны цахилгаан үүсгүүрээр хангах боломж

Судалгаанд оролцсон *"Айл-1:Уулын айл", "Айл-2: Зураач", "Айл-3: Таван гэр"* 3 айлын нүүрс болон цахилгаанаар халдаг үеийн цахилгаан зарцуулалт нь 2551 кВт.ц хэрэглэдэг байсан. Харин цахилгаан халаагуур руу шилжсэнээс хойш цахилгааны зарцуулалт 6907 кВт.ц болж 170%-иар нэмэгдсэн. Үүний ихэнх хувь нь өвлийн улиралд нэмэгдсэн байна. Хэрэв энэ хэрэглээг агаарын дулааны насосоор хангана гэж үзээд тэгшитгэл “(1)”-ээр агаарын дулааны насосны цахилгааны хэрэглээг тооцож үзвэл 4729 кВт.ц/жил болохоор байгаа юм.

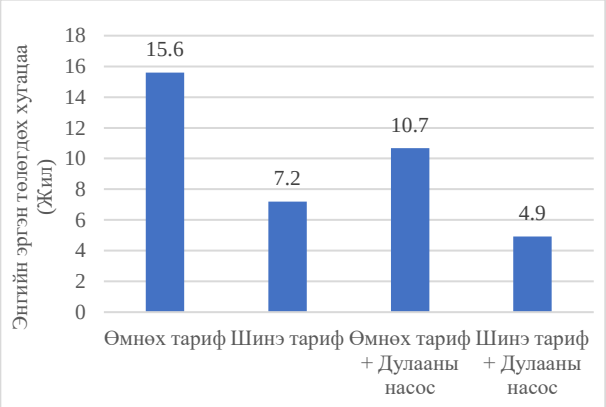
Гэрийн дулааны шийдэлд энгийн түлшээр ажилладаг зуух, хуримтлууртай цахилгаан халаагуур, агаарын дулааны насос, нарны цахилгаан үүсгүүртэй халаагуур, нарны цахилгаан үүсгүүртэй агаарын дулааны насос гэсэн 5 шийдлийг сонгон авч харьцуулав. 5-р хүснэгтээс харахад гэрийн дулааны шийдэлд нүүрс, түлшээр галладаг зуур, цахилгаан

халаагуур, агаарын дулааны насос нь зардал үүсэж, хэрэглээг хангаж байгаа учраас анхны хөрөнгө оруулалт ба үйл ажиллагааны зардлыг эргэн төлөх боломжгүй шийдлүүд юм. Өөрөөр хэлбэл хэрэглэгчээс байнга зардал гарах шийдэл гэсэн үг. Үүнд цахилгаан халаагуур болон дулаан насосын цахилгаан хэрэглээ нь тогтмол зардал шаарддаг, харин эдгээр шийдлүүдийг хуримтлууртай нарны цахилгаан үүсгүүрээр хангах боломжийг судалсан тохиолдолд нөхцөл байдал өөрчлөгдөнө. Батарей хуримтлууртай нарны цахилгаан үүсгүүр нь халаалт болон цахилгааны хэрэглээнд үр ашигтайгаар ашиглаж чадвал түүний эргэн төлөгдөх хугацааг илүү хурдасгаж болно.

ГЭРИЙН ДУЛААНЫ ШИЙДЛИЙН ХАРЬЦУУЛАЛТ

5-Р ХҮСНЭГТ

№	Үзүүлэлт	Хэмжих нэгж	Нүүрсэр халаадаг	Хуримтлууртай цахилгаан халаагуур	Дулаан насос	Нарны цахилгаан үүсгүүртэй систем	Нарны цахилгаан үүсгүүр, дулаан насостой систем
1	НЦҮ-ийн суурилагдсан хүчин чадал	кВт	-	-	-	3	2
2	Батарей хуримтлуурын багтаамж	кВт.ц	-	-	-	9.6	4.6
3	Жилд үйлдвэрлэх ЦЭХ	кВт.ц/жил	-	-	-	4,456	2,843
4	Халаагуурын чадал	кВт	-	3.2	2.1	3.2	2.1
5	Жилд хэрэглэх ЦЭХ	кВт.ц/жил	2,551	6,907	4,729	6,907	4,729
6	Цахилгаан болон нүүрсний төлбөр	Мян.₮/жил	1,907	1,374	941	27.6	-331
7	Хэмнэлт	Мян.₮/жил	-	533	966	1,653	2,450
8	Хөрөнгө оруулалтын зээл (3%/жил)	Мян.₮	-	2,500	3,500	11,899	11,657
9	Тэгшитгэсэн өртөг (Ашиглалтын хугацаа 25 жил үед)	₮/кВт.ц	116.3	235.1	186.9	76.2	52.2
10	Зардал нөхөх хугацаа	жил	-	-	-	7.2	5



4-р зураг. Нарны цахилгаан үүсгүүрийн хөрөнгө оруулалтын эргэн төлөгдөх хугацаа

Тооцоогоор НЦҮ бүхий цахилгаан халаагуур нь анхны хөрөнгө оруулалтаа 7.2 жилийн хугацаанд эргэн төлөх боломжтой, харин НЦҮ-тэй агаарын дулаан насосыг хослуулснаар энэ үзүүлэлт нь 5.2 жилд эргэн төлөгдөх боломжтой болж буурч байна. Энэ нь цахилгаан халаагуур болон дулааны насосны цахилгааны хэрэглээг нарны цахилгаан үүсгүүрийн системээр хангах үед халаалтын зардал мэдэгдэхүйц буурч, хөрөнгө оруулалтын эргэн төлөгдөх хугацаа ч богино болж буйг харуулж байна.

4-р зурагт харуулсанчлан, 3 кВт чадалтай, 9.6 кВт.ц багтаамжтай нарны цахилгаан үүсгүүр (НЦҮ)-ийн цахилгаан эрчим хүчний энгийн эргэн төлөгдөх хугацаа өөрчлөлт орохоос өмнөх цахилгааны тарифаар тооцоолсон үед 15.6 жил гэж гарч байсан бол, шинэчлэгдсэн тарифаар тооцоолсон тохиолдолд эргэн төлөгдөх хугацаа 7.2 жил болж 2 дахин буурч байна. Энэ нь шинэ тарифын нөхцөлд цахилгааны үнийн хямдралтай учраас эргэн төлөгдөх хугацаа буурч байгааг харуулж байгаа юм.

Түүнчлэн, 2 кВт чадалтай, 4.6 кВт.ц багтаамжтай НЦҮ-ийг агаарын дулааны насостой хослуулан ажиллуулах тохиолдолд, өөрчлөлт орохоос өмнөх тарифын нөхцөлд эргэн төлөгдөх хугацаа 10.7 жил байсан бол, шинэ тарифын нөхцөлд энэ хугацаа 5 жил болж эрс буурч байна. Энэ нь агаарын дулаан насостой хослуулан ажиллах нь цахилгааны хэрэглээг тодорхой хэмжээгээр хэмнэх боломжийг олгодог бөгөөд шинэ тарифтай үед энэ хэмнэлт нь эргэн төлөгдөх хугацааг илүү хурдан болгож байгаа юм.

IV. ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгаа нь Монгол орны нөхцөлд тохирсон гэрийн цахилгаан халаалтын шийдлүүдийг шинжлэн судалж, цахилгаан халаагуур болон дулааны насосын үр ашгийг харьцуулан дүгнэсэн. Судалгааны үр дүнгээс харахад, дулааны насос нь цахилгаан халаагуураас илүү үр ашигтай бөгөөд нэгж цахилгааны хэрэглээнд илүү их дулаан үйлдвэрлэх боломжийг олгодог. Гэр хорооллын өрхийн цахилгаан хэрэглээ халаалтын улиралд огцом нэмэгддэг тул дулаан насос нь өвлийн улиралд халаалтад зарцуулж буй цахилгаан эрчим хүчийг 2 дахин хэмнэх боломжийг харуулсан.

Гэр хорооллын айл өрхийн цахилгаан хэрэглээг нүүрс болон цахилгаанаар халаах үед харьцуулан тооцоход, цахилгаан халаалт руу шилжсэн өрхийн жилийн цахилгаан хэрэглээ 2551 кВт.ц-аас 6907 кВт.ц болж, 170%-иар өссөн байна. Харин дулаан насос ашиглах тохиолдолд цахилгаан хэрэглээ 4729 кВт.ц болж, цахилгаан халаагуураас 31.5%-иар багассан. Энэ нь дулаан насосны хэрэглээний хувьд илүү тогтвортой, эрчим хүч хэмнэх боломжтой гэдгийг илтгэнэ.

Нарны цахилгаан үүсгүүрийн системийн эргэн төлөгдөх хугацаа 7.2 жил байснаас дулаан насостой хослуулсан тохиолдолд энгийн эргэн төлөгдөх хугацаа 5 жил болж, хөрөнгө оруулалтын зардал багасах боломжтой гэдгийг тооцооллоор батлагдсан.

Энэ нь нарны эрчим хүчний системийг дулаан насостой хослуулан ашиглах нь эрчим хүчний хэмнэлт, хөрөнгө оруулалтын эргэн төлөгдөх хугацааг богиносгох, эдийн засгийн үр ашгийг нэмэгдүүлэх боломжийг харуулж байна.

Судалгааны дүнгээс үзэхэд, Монгол Улсын эрчим хүчний бодлогыг цахилгаан халаалтын дэмжлэгтэйгээр оновчтой зохицуулснаар олон давуу талуудыг олж авах боломжтой. Эдгээр давуу талууд нь агаарын бохирдлыг бууруулах, өрхийн санхүүгийн дарамтыг багасгах, сэргээгдэх эрчим хүчийг илүү үр ашигтай ашиглах явдал юм. Цахилгаан халаалт, дулаан насос, нарны цахилгаан үүсгүүрийн хослол нь Монгол орны эрчим хүчний хэрэглээг хэмнэх, байгаль орчинд ээлтэй шийдэл болох төдийгүй иргэдийн амьдралын чанарыг сайжруулахад чухал хувь нэмэр оруулж байна.

Энэхүү судалгаа нь Монгол Улсад цахилгаан халаалтын шинэ технологийг нэвтрүүлэх, агаарын бохирдлыг бууруулах, мөн эрчим хүчний үр ашигтай хэрэглээг дэмжих бодлогын хэрэгжилтийг үр дүнтэйгээр удирдах боломжийг илтгэж байна. Түүнчлэн, энэ төрлийн технологиудыг өргөн хүрээнд ашиглах нь орон сууцны халаалт болон дулаан хэрэгцээний асуудлыг шийдвэрлэхэд чухал ач холбогдолтой юм.

V. ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Судалгааны үр дүнгээс харахад Монгол орны нөхцөлд дулааны насос нь уламжлалт цахилгаан халаагуураас илүү үр ашигтай бөгөөд эрчим хүчний хэрэглээг хэмнэх боломжтой шийдэл болох нь тогтоогдсон. Дулааны насос нь нэгж цахилгааны хэрэглээнд илүү их дулаан үйлдвэрлэж, гэр хорооллын өрхийн халаалтын зардлыг бууруулахад чухал үүрэг гүйцэтгэж байна.

Гэр хорооллын өрхийн цахилгаан хэрэглээний судалгаанаас үзэхэд, цахилгаан халаалт руу бүрэн шилжсэн тохиолдолд цахилгааны хэрэглээ огцом өсөх эрсдэлтэй бөгөөд энэ нь эрчим хүчний системд өндөр ачаалал өгч болзошгүй. Харин дулааны насос ашиглах нь цахилгааны хэрэглээг 31.5%-иар бууруулж, эрчим хүчний хэрэглээний тогтвортой байдлыг хангах боломжтойг харуулсан. Нарны цахилгаан үүсгүүрийг дулааны насосны системтэй хослуулан ашиглах нь эрчим хүчний хэмнэлт, эдийн засгийн үр ашигтай байдлыг нэмэгдүүлэх шийдэл болох нь судалгаагаар батлагдав. Энэхүү хосолсон системийн эргэн төлөгдөх хугацаа 7.2 жилээс 5 жил болж багассан нь хөрөнгө оруулалтын зардлыг бууруулах, сэргээгдэх эрчим хүчийг илүү үр ашигтай ашиглах боломжийг харуулж байна. Монгол Улсын эрчим хүчний бодлогыг цахилгаан халаалт болон дулааны насосны шийдлүүдийг дэмжих чиглэлээр оновчтой хэрэгжүүлснээр хэд хэдэн давуу талууд бий болох боломжтой. Үүнд:

- Агаарын бохирдлыг бууруулах
- Өрхийн санхүүгийн дарамтыг багасгах
- Эрчим хүчний хэрэглээг оновчтой болгох
- Сэргээгдэх эрчим хүчийг өргөн хүрээнд нэвтрүүлэх

Цахилгаан халаалт, дулааны насос, нарны цахилгаан үүсгүүрийн хослол нь Монгол орны эрчим хүчний хэрэглээг хэмнэх, байгаль орчинд ээлтэй шийдэл болохын зэрэгцээ иргэдийн амьдралын чанарыг сайжруулахад чухал хувь нэмэр оруулах боломжтой юм.

ТАЛАРХАЛ

Энэ судалгааны ажил нь ШУТИС-ийн санхүүжилттэй “Монгол орны нөхцөлд хоёр талт нарны цахилгаан үүсгүүрийн суурилуулалтын өнцгийг тодорхойлох” төслийн хүрээнд хийгдсэн болно. Судалгааны явцад агаарын дулааны насосыг уг лабораторид суурилуулан, түүний туршилт, судалгааг хийх боломжийг Динамик Тауэр ХХК хангаж, судалгааны үр дүнд хүрэхэд шаардлагатай техникийн туслалцааг үзүүлсэн. Мөн Юрика ХХК нь судалгааны өгөгдлийг бүрдүүлэх, техникийн дэмжлэг үзүүлэх, судалгааны зөвлөгөө өгөхөд чухал үүрэг гүйцэтгэж, тусламж үзүүлсэн. Судалгааны үр дүнг гаргахад энэ хамтын ажиллагааны ач холбогдол нь их байсан бөгөөд, эрдэм шинжилгээний олон талт ажилд дэмжлэг үзүүлсэн дээрх байгууллагуудад талархал илэрхийлье.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] Y. С. Хороо, “Статистик мэдээллийн нэгдсэн сан,” 29 October 2020. [Холбогдсон].

[2] Х. З. Y. Хүрээлэн, “Эрх Зүйн Мэдээллийн Нэгдсэн Систем,” 27 October 2021. [Холбогдсон]. Available: https://www.legalinfo.mn/mn/detail?lawId=16231383550501.

[3] Х. З. Y. Хүрээлэн, “Эрх Зүйн Мэдээллийн Нэгдсэн Систем,” 2017. https://legalinfo.mn/mn/detail?lawId=207779.

[4] Э. Х. З. ХОРОО, “Эрчим хүчний зохицуулах хорооны тогтоол "тариф батлах тухай",” *Захиргааны хэм хэмжээний актын эмхэтгэл №32*, Улаанбаатар, 2024.

[5] “Улаанбаатар Цахилгаан Түгээх Сүлжээ,” Улаанбаатар Цахилгаан Түгээх Сүлжээ ТӨХК, 12 June 2024. https://www.tog.mn/hangah.

[6] Эрдэнэбатын Мөнхтуяа, Бат-Очирын Батзаяа “Өрхийн эрчим хүчний хэрэглээнд ашиглах нарны цахилгаан систем, түүний эдийн засгийн үр ашгийн судалгаа” *2021 Эрдэм шинжилгээний эмхэтгэл*, Улаанбаатар, 2021.

[7] Энхбаатарын Жавхлантөгс, Гансүхийн Мөнгөншагай “Electrifying Mongolia: Leveraging Solar-Battery Hybrid Systems, Nighttime Tariffs for Sustainable Energy Transition,” *Хүрэлтогоот 2024 хурлын эмхэтгэл*, УЛААНБААТАР, 2024.

[8] Walter Shorrt, Daniel J. Packey and Thomas Holt “Levelized Cost of Energy,” %1-д *A Manual for the Economic Evaluation of Energy Efficiency and Renewable Energy Technologies*, Colorado, National Renewable Energy Laboratory, 1995, p. 47.

[9] Jadun, P., McMillan, C., Steinberg, D., Muratori, M., Vimmerstedt, L. and Mai, T. “ Electrification futures study: End-use electric technology cost and performance projections through 2050,” Technical report, National Renewable Energy Lab., Golden US, 2017.

[10] Louise Bernard, Andy Hackett, Robert D. Metcalfe and Andrew Schein. “ Decarbonizing heat: The impact of heat pumps and a time-of-use heat pump tarif on energy demand” National bureau of economic research, Massachusetts, 2024

ТӨВИЙН ХАЛААЛТЫН СИСТЕМД ХОЛБОГДООГҮЙ ӨРХИЙН ХАЛААЛТЫГ ШИЙДЭХ БОЛОМЖИЙН СУДАЛГАА

Содномын МӨНХЗУЛ[1], Бямбаагийн СЭРГЭЛЭН[1] , Дэлгэрбатын ДАЛАЙЦЭРЭН[1]

[1]Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Цахилгааны инженерийн салбар

Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: munkhzulsodnom@gmail.com, bsergelen@must.edu.mn[1]

Хураангуй: ***Төвийн дулааны сүлжээнд холбогдоогүй айл өрх болон үйлдвэрийн газруудын халаалтын системийг хямд, найдвартай бөгөөд байгаль орчинд хамгийн ээлтэйгээр шийдэхийн тулд газан халаалт, цахилгаан халаалт, зуух (хатуу түлш), нарны энерги, гүний дулаан, агаарын халаалтуудыг харьцуулан эдийн засгийн хувьд хямд, байгаль орчинд ээлтэйг сонгохын тулд энэхүү судалгааг хийв. Судалгааны объектоор дөрвөн өрөө 2 давхар амины орон сууцыг сонгоод ЮНИГАЗ Heaven брэндийн газан халаалтыг сонгон авч, Матлаб программ дээр симуляци хийн шатахууны зардлыг зуухаар дамжин өнгөрөх түлшний массын урсгалын хурдаар тооцсон. Түлш нь байгалийн хийн нягтралтай (~0.9 кг/м^3) бөгөөд байгалийн хийн өртөг нь мянган шоо фут тутамд 29,325 төгрөг болсон.***

Түлхүүр үг: Матлаб программ, халаалтын систем, амины орон сууц

I. ОРШИЛ

Монгол Улсын нийслэл Улаанбаатар хот нь дэлхийн хамгийн хүйтэн, агаарын бохирдол өндөр хотуудын нэгт тооцогддог юм.Сүүлийн жилүүдэд Улаанбаатар хотын хүн амын өсөлтөөс хамааран “Гэр” хороллын айл өрхийн тоо нэмэгдэж байна. “Гэр” хороололд ашиглагдаж байгаа чулуужсан нүүс нь эрчим хүчний эх үүсвэр, хатуу түлшээр ажилладаг зуухнаас болж CO2 ялгаруулалт нэмэгдсэн. Мөн одоогийн цахилгаан эх үүсвэрийн дийлэнх хувийг дулааны цахилгаан станц эзэлж байгаагаас үүдэн хүлэмжийн хийн ялгаруулалтын хэмжээг улам бүр нэмэгдүүлээд байна.

Монгол орны хувьд гадна агаарын температур +35 С хэмээс -45 С хэмийн хооронд хэлбэлздэг, жилийн дөрвөн улирлын хүйтний улирал нь илүү удаан үргэлжилдгээрээ бусад газар нутгаас ялгаатай. Монгол орны хувьд халаалтын улирал нь шилжилтийн улирлаар эхэлж, шилжилтийн улирлаар дуусдагаараа онцлогтой. Шилжилтийн улирал нь +10 хэмээс эхэлж -10 хэмээр дуусаж хүйтний улиралтай золгодог. Хүйтний улирлыг -10 С хэмээс хамгийн бага температур хүртэл буюу Улаанбаатар хотод -39 С хэм хүртэл байхаар тооцдог. Улаанбаатар хотод халаалтын улирал нь намар 09-р сарын 15-наас эхэлж хойтон жилийн хавар 05-р сарын 15- нд дуусдаг. Энэ хугацаанд бүх орон сууцны барилгууд дулааны системээс дулаанаар хангагдаж халаалтаа авч байдаг. Цахилгаан эрчим хүчний хэрэглэгчдэд борлуулах үнэ тарифын Эрчим хүчний зохицуулах хорооноос баталсан тогтоолын дагуу мөрдөж ажилладаг. 2024 оны 11 дүгээр сарын 1-ны өдрийн 632 дугаар тогтоолын дагуу тухайн сарын 15-ны өдрөөс мөрдөж байна.

Айл өрх болон үйлдвэрийн газруудын халаалтын системийг хямд, найдвартай бөгөөд байгаль орчинд хамгийн ээлтэйгээр шийдэхийн тулд газан халаалт, цахилгаан халаалт, зуух (хатуу түлш), нарны энерги, гүний дулаан, агаарын халаалтуудыг харьцуулан эдийн засгийн хувьд хямд, байгаль орчинд ээлтэй халаалтын төрлийг сонгохын тулд энэхүү судалгааг хийв.

Өгүүлэл нь дараах бүтэцтэй болно. Судалгааны ажлын объектын тухай 2-р бүлэгт, 3-р бүлэг нь судалгааны ажлын арга зүй, Судалгааны ажлын үр дүнг 4-р бүлэгт оруулсан ба эцэст нь 5-р бүлэгт дүгнэлтийг оруулсан.

II. СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН ОБЬЕКТ

Баянзүрх дүүрэг 3 дугаар хорооны нутаг дэвсгэрт байрлах 4 өрөө 2 давхар хаусыг судалгааны объект болгон сонгон авлаа.

1-р зураг. Судалгааны объект

ЭХЗХ-НЫ 2024 ОНЫ 632 ДУГААР ТОГТООЛ АХУЙН ХЭРЭГЛЭГЧИД 1 кВТ.ЦАГИЙГ ЦАХИЛГААН ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ БОРУУЛАХ ҮНЭ ТАРИФ

1-Р ХҮСНЭГТ

Тооцооны тариф	Ангилал	I шатлал	II шатлал	III шатлал
		0-150 кВт.ц	150-300 кВт.ц	300 кВт.ц дээш
1 тарифт	Энгийн тоолууртай	175	256	285
2 тарифт	Өдөр /06-21 цаг/	182	225	265
	Шөнө /21-06 цаг/	147	160	160
3 тарифт	Өдөр /06-17 цаг/	170	190	220
	Оргил /17-21 цаг/	280	290	300
	Шөнө /21-06 цаг/	113	113	113

Цахилгаан халаагууртай гэж тооцож хэрэглэгчийн цахилгаан эрчим хүчний төлбөрийн тооцооллын одоо тооцож байгаа тарифаар тооцож үзсэн ба цахилгаан халаагуурын тоо болон чадлаас хамаарч тооцоо хийсэн болно. Сар бүрийн цахилгаан

эрчим хүчний төлбөр өндөр байгааг 2,3 -р хүснэгтээр харууллаа.

ЖИШЭЭ БОЛГОЖ БАЙГАА ЦАХИЛГААН ХАЛААГУУРУУДЫН САРЫН ХЭРЭГЛЭЭГ ТООЦВОЛ

2-Р ХҮСНЭГТ

Халаагуурын төрөл	Хүчдлийн түвшин /В/	Халаах талбай м2	чадал /Р/	сарын хэрэглээ /кВт.ц/
Нам даралтын цахилгаан тогоо	220	70	6.00	3,240.00
Галан электродот тогоонуудын үнэ	220	70	6.16	3,326.40
Инфра улаан туяаны таазны халаагуур (Билюкс цахилгаан халаагуурууд)	220	70	13.40	7,236.00
Цахилгааны хэмнэлттэй цахилгаан халаагуур (цахилгаан хуримтлууртай)	220	70	3.60	1,944.00
Дашваанжил Эрчим хүчийг хэмнэх герман технологи "Пуужин халаагуур"	220	70	6.71	3,623.40

ОДОО МӨРДӨГДӨЖ БАЙГАА ҮНЭ ТАРИФААР ТООЦВОЛ

3-Р ХҮСНЭГТ

Халаагуурын төрөл	өдөр хэрэглээний эзэлх % /60%/	шөнө хэрэглээний эзэлх % /40%/	I шатлал /тариф/		II шатлал /тариф/		III шатлал /тариф/		Нийт мөнгөн дүн /ЦЭХ-н төлбөр /
			өдөр	шөнө	өдөр	шөнө	өдөр	шөнө	
			182	147	225	160	265	160	
Нам даралтын цахилгаан тогоо	1,944	1,296	16,380	8,820	20,250	9,600	435,660	159,360	490,710
Галан электродот тогоонудын үнэ	1,996	1,331	16,380	8,820	20,250	9,600	449,398	164,890	504,448
Инфра улаан туяаны таазны халаагуур (Билюкс цахилгаан халаагуурууд)	4,342	2,894	16,380	8,820	20,250	9,600	1,071,024	415,104	1,126,074
Цахилгааны хэмнэлттэй цахилгаан халаагуур (цахилгаан хуримтлууртай)	1,166	778	16,380	8,820	20,250	9,600	229,596	76,416	284,646
Дашваанжил Эрчим хүчийг хэмнэх герман технологи "Пуужин халаагуур"	2,174	1,449	16,380	8,820	20,250	9,600	496,621	183,898	551,671

НАМ ДАРАЛТЫН ЦАХИЛГААН ТОГОО

3-Р ХҮСНЭГТ

№	Нэр, чадал,кВт	Халаах талбай	Хэрэглэх хүчдэл,В	Хэрэглээний гүйдэл,А	Тогоо ны үнэ (төг)	Навигатортой үнэ
1	Очаг-Турбо-6	70	220/380	27.3	1385000	1935000
2	Гейзер-Турбо-9	100	380	16	1575000	2275000
3	Гейзер-Турбо-12	120	380	20	1750000	2450000
4	Гейзер-Турбо-15	160	380	25	1850000	2550000
5	Вулкан-Турбо-18	180	380	32	2425000	3225000
6	Вулкан-Турбо-24	250	380	40	2640000	3440000
7	Вулкан-Турбо-30	300	380	60.8	2750000	3650000

ГАЛАН ЭЛЕКТРОДОТ ТОГООНУУДЫН ҮНЭ

4-Р ХҮСНЭГТ

№	Нэр төрөл чадал,кВт	Халаах талбай (м2)	Хэрэглэний хүчдэл, В	Хэрэглээний гүйдэл, А	тогооны үнэ (төг)	навигатортой үнэ
1	Очаг-5	60	220	23	930000	1480000
2	Очаг-6	70	220	28	950000	1500000
3	Гейзер-9	130	220/380	40/16	1550000	2250000
4	Гейзер-15	180	380	25	1750000	2450000
5	Вулкан-25	300	380	40	1990000	2790000
6	Вулкан-36	420	380	60.8	2200000	3100000

ИНФРА УЛААН ТУЯАНЫ ТААЗНЫ ХАЛААГУУР (БИЛЮКС ЦАХИЛГААН ХАЛААГУУРУУД)

5-Р ХҮСНЭГТ

№	Нэр марк	Жин	Чадал Вт	Ажиллах хүчдэл В	Гүйдэл А	Өлгөх өндөр м	Халаах талбай м2	Үнэ
1	Алмак ИК5	1.6	500	220	2.3	2.0-2.4	5-7	660000
2	Алмак ИК8	2.3	800	220	3.6	2.2-2.4	8-10	770000
3	Алмак ИК11	3.3	1000	220	4.6	2.4-2.6	10-12	880000
4	Алмак ИК13	3.8	1300	220	6.1	2.6-2.8	13-15	990000
5	Алмак ИК16	5.2	1500	380	6.8	2.8-3.4	15-17	1100000

ЦАХИЛГААНЫ ХЭМНЭЛТТЭЙ ЦАХИЛГААН ХАЛААГУУР (ЦАХИЛГААН ХУРИМТЛУУРТАЙ)

6-Р ХҮСНЭГТ

№	Тоног төхөөрөмжийн загвар	Хүчин чадал Вт	Халаах талбай м2	Үнэ
1	SD600	600	8	399000
2	S600TW	600	12	489000
3	SA800	800	14-18	550000
4	S900	900	16-20	530000
5	S1000	1000	18-22	540000
6	S1200	1200	20-24	650000
7	G2200 монгол гэр	2200	25-33	1300000
8	G1800 монгол гэрийн шүүгээтэй	1800	25-33	1600000
9	S400T алчуур хатаагч	400	6-8	390000
10	TX900T босоо халаагуур	900	14.18	570000

ДАШВААНЖИЛ ЭРЧИМ ХҮЧИЙГ ХЭМНЭХ ГЕРМАН ТЕХНОЛОГИ "ПУУЖИН ХАЛААГУУР"

7-Р ХҮСНЭГТ

№	Нэр	Халаах талбай	Чадал, вт	Ажиллах хүчдэл, Вт	Гүйдэл, А	Халаах талбай м²	Үнэ
1	Газ+цахилгаан теендег халаагуур	50	500	220	2.3	5-7	660000
2	Хос үйлдэлт халаагуур	16	800	220	3.6	8-10	770000
3	Шүхрэн халаагуур 658	60-80	1000	220	4.6	10-12	880000
4	Теендег халаагуур 5629	50	1300	220	6.1	13-15	990000
5	Теендег халаагуур 5630	25	1500	380	6.8	15-17	1100000
6	Шүхрэн халаагуур 4557	50-70		220	16		150000
7	L1PB22	200	105			220	

ГОРГАЗ

8-Р ХҮСНЭГТ

№	Нэр төрөл	Халаах талбай	Халаах хэмжээ	Халаах хийн төрөл	Үнэ
1	48кВт хийн бойлер	288м2	37-85	Пропан	1950000
2	34.5кВт Конби бойлер	207м2	40-80	Пропан	1900000
3	LPG хийн халуун усны бойлер	2350-2700	40-80	LPG	3215000

ЮНИГАЗ

9-Р ХҮСНЭГТ

№	Нэр, төрөл	Улсын нэр	Үнэ, төгрөг
1	Автомат даралт тохируулагч-СО-8кг/2.8кпа	Солонгос	183700
2	Бойлер Navien16K	Солонгос	1702200
3	Бойлер яанданСК-LPG	Хятад	76600
4	Киь хувиргагч LPG16Кв	Солонгос	105200
5	Өндөр даралтын шланг TIH-6-12HQ	Япон	62700
6	Бэхлэгч-Ф20	Солонгос	5400
7	Ган хоолой DN20	Хятад	22000
8	Салдаг мүф-20	Япон	20800
9	Хий мэдрэгчийн удирдлагын панел	Солонгос	63000
10	Хий мэдрэгч	Солонгос	61900
11	Автомат таслагч хавхлага	Солонгос	57500
12	Автомат бөмбөлөгөн хаалт	Солонгос	55400
13	Ган булан,Ф20 резватай	Япон	6700
14	Холбогч мүфт 20Ах15А	Япон	3100
15	Холбогч ФА ф15 япон	Япон	1600
16	Нам даралтын хаалт	Япон	46600
17	Хатуулагтай уян хоолой	Япон	14300
18	Уяан хоолойн мүфт	Япон	66600
19	Нам даралтын хаалт GTTM-20A	Япон	73700
20	Тройник Ф20	Япон	6700
21	Кабел далдлагч 1м	Солонгос	2800
22	Хийн боллоны бэхэлгээний хөнгөн цагаан гинж 2460мм	Япон	10100
23	Цахилгааны утас2*0.75	Солонгос	2100
24	Заглушка ф20	Япон	10000
25	Яндан өрөм ф110	Хятад	96300
26	Үндсэн материалын дүн		3231200
27	Туслах материалын дүн		69000
28	Нийт		3334980

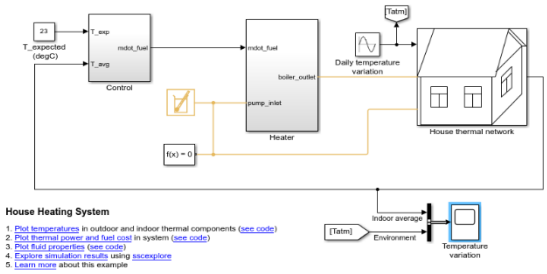
Судалгааны үр дүнгээс үндэслэн үзвэл цахилгаан халаалт нь үнэ өртөг өндөр. Шахмал түлш(хатуу түлш) үнэ хямд байгаа ч CO^2 –ийн ялгаруулалт өндөр байгаа бол гүний дулаан нь суурилуулалтын зардал өндөр байна. Халаалтуудаас газан халаалт нь үнийн хувьд хямд CO^2-ийн ялгаруулалт бага байгаа тул матлаб симуляци хийв.

III. СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН АРГА ЗҮЙ

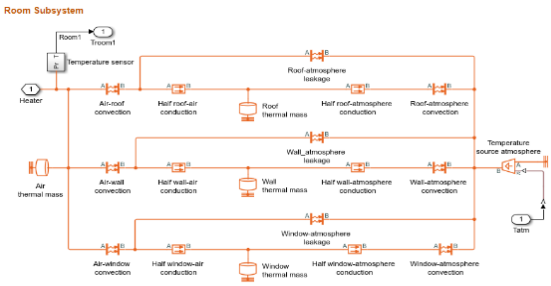
Энэхүү өгүүлэлд MATLAB программ хангамжийг ашигласан ба энэ программ нь инженерийн тооцоо, загварчлалын Matlab систем 1970-аад оны сүүлчээр үүссэн. Орчин үед Matlab-ийг инженерийн ба шинжлэх ухааны тооцооллын өндөр ашигтай хэл хэмээн нэрлэж болно. Matlab программын тусламжтайгаар тоон олон туршилтыг хийж гүйцэтгэх боломжтой. Энэхүү программ нь тухайн орчин цагийнхаа хамгийн сайн алгоритмуудыг ашигласан байдаг учир программаар тооцон гаргаж байгаа үзүүлэлтүүддээ хэрэглэгч итгэлтэй байж болдгоороо давуу талтай. Одоо энэ программыг MathWorks компани хөгжүүлэн түгээж байдаг, төлбөртэй программ юм. Олон тооны тоон үйлдлүүдийг зөвхөн цөөн командуудаар гүйцэтгэх боломжийг Matlab олгодог. Өөрийн тогтмол ашигладаг үйлдлүүдийг нэгтгэн нэг бүлэг команд болгон ашиглах боломжтой. Matlab программ нь олон төрлийн сайхан графикуудыг байгуулах боломжийг олгодог

IV. СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН ҮР ДҮН

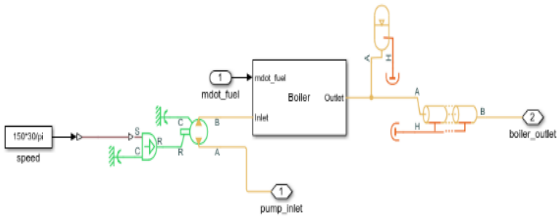
Текстийг засварлаж дуусаны дараа өгүүллийг загвар хэвд оруулна. Save As командыг ашиглан загвар хэвийн файлыг хуулаад та өгүүлэлдээ нэр өгөхдөө Латин үсгээр доорх дараалаар бичнэ үү:



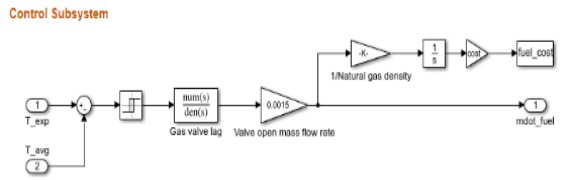
2-р зураг. Матлаб программын симуляци



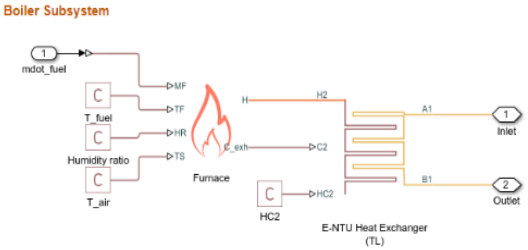
3-р зураг. Өрөөний блок схем



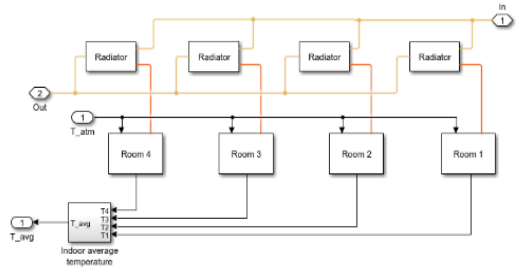
4-р зураг. Матлаб симуляцын ерөнхий схем



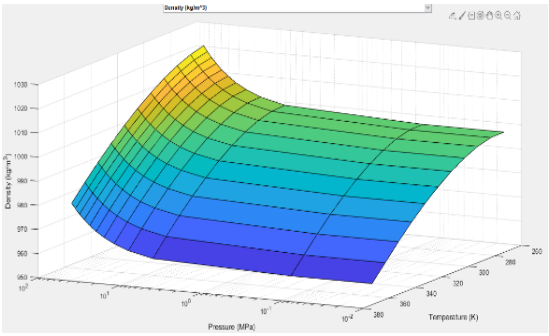
5-р зураг. Удирдлагын схем



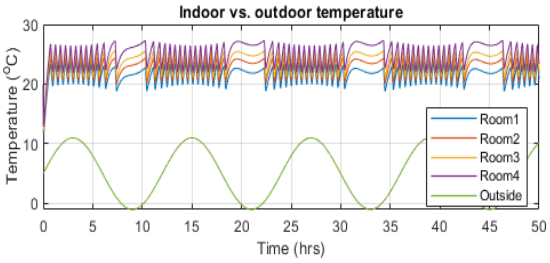
6-р зураг. Бойлер схем



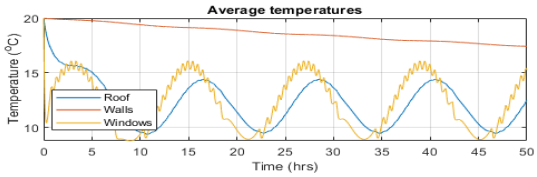
7-р зураг. Радиаторын температурын хүлээн авах схем



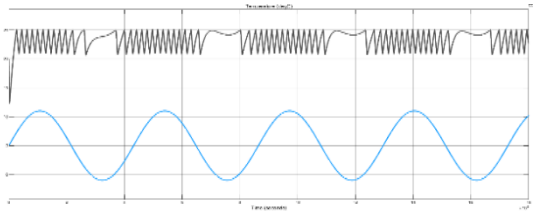
8-р зураг. Гадна ба өрөөнүүдийн темпратур



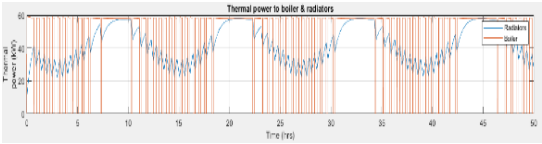
9-р зураг. Гадна ба дотор орчны темпратур



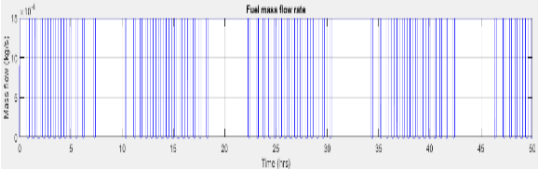
10-р зураг. Хана, шал, таазны дундаж темпратур



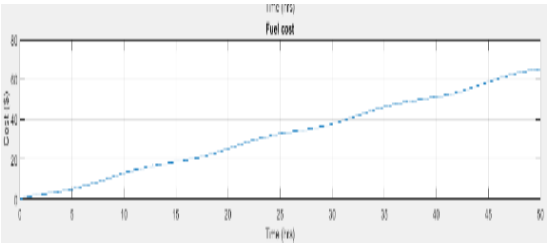
11-р зураг. Гадна ба дотор орчны темпратур



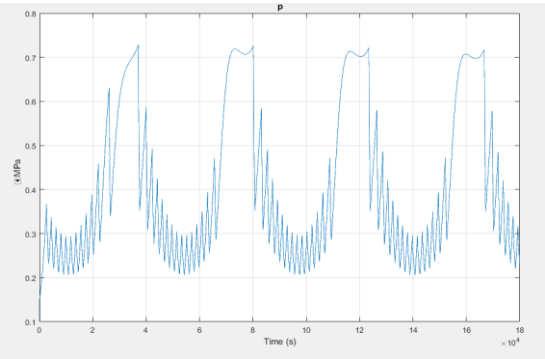
12-р зураг. Бойлер ба радиаторуудад дулааны эрчим хүч



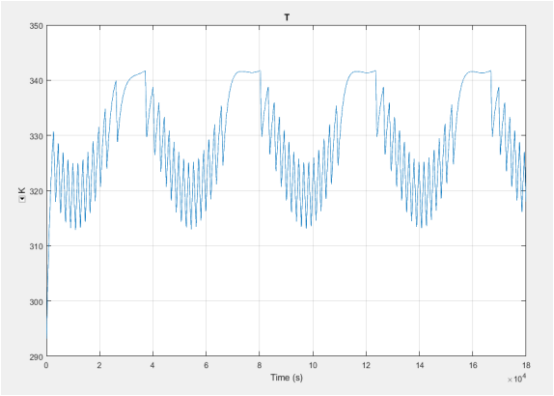
13-р зураг. Түлшний массын урсгалын хурд



14-р зураг. Шатахууны зардал



15-р зураг. Даралт



16-р зураг. Даралт

ДҮГНЭЛТ

Дэлхий нийтэд төдийгүй манай орны хувьд эрчим хүчний хангамж, байгаль экологийн асуудал болох агаарын бохирдол хурцаар тавигдаж байгаа өнөө үед эрчим хүчний хэмнэлт гаргах, ухаалаг эрчим хүчийг нийт эрчим хүчний балансад эзлэх хувийг нэмэгдүүлэх зайлшгүй шаардлагатай болж байна.

Манай улсын хувьд сүүлийн жилүүдэд өөрийн гэсэн хувийн орон зайг бүрдүүлсэн, тансаг зэрэглэлийн хаус хороолол олноор баригдаж, эрэлт хэрэгцээ их байгаа тул бусад тансаг зэрэглэлийн хаус хорооллоос илүү байж, ухаалаг цахилгаан хангамжийн шийдлүүдийг бий болгох нь зайлшгүй шаардлагатай байна. Мөн ухаалаг систем хэрэглэж эрчим хүчээ хэмнэх шийдэл рүү дэлхий нийтээр орж байна. Хувийн сууц, хаусны цахилгаан ачаалал нь гэр бүлийн амьдралын хэв шинж орчин үеийн ухаалаг цахилгаан хэрэгслийн иж бүрдэл, материаллаг хүрэлцээ, цаг уурын нөхцөл зэрэг олон хүчин зүйлээс хамаарсан санамсаргүй хэмжигдэхүүн юм. Тиймээс дээрх судалгааны үр дүнд үндэслэн ЮНИГАЗ Heaven брэндийн газан халаалтыг сонгон авч Матлаб программ дээр симуляц хийн шатахууны зардлыг зуухаар дамжин өнгөрөх түлшний массын урсгалын хурдаар тооцдог. Түлш нь байгалийн хийн нягтралтай(~0.9 кг/м3) бөгөөд байгалийн хийн өртөг нь мянган шоо фут тутамд 29325 төгрөг байна. Хэдийгээр Монгол Улс хийн түлшний хэрэглээний тухай хуультай ч хийн ашиглалтын аюулгүй байдлын талаар хангалттай хуульчилсангүй. Хийн түлшийг аюулгүй ашиглах орчныг бүрдүүлэхийн тулд хийн хангамжийн үйлчилгээг зохицуулахаас гадна хийн үйлчилгээ үзүүлэгчдийн сайн дурын хүчин чармайлтыг дэмжих, энгийн хэрэглэгчдийг урамшуулах нь чухал юм. Монгол Улсад сайн дурын аюулгүй байдлын системийг сайжруулах, олон нийтэд мэдээлэх, соён гэгээрүүлэх арга хэмжээнд анхаарч хийн үйлчилгээ эрхлэгчдэд зориулсан аюулгүй байдлын зааварчилгааг боловсруулах нь чухал гэж үзсэн. Иймд Японы хийн аюулгүй байдлын баталгааны тухай хууль, хийн аж ахуйн нэгжүүдийн дүрэм журамд үндэслэн хийн хэрэглээг сурталчлахад нэн шаардлагатай гэж үзсэн аюулгүй байдалтай холбоотой агуулгыг гаргаж авч Монгол Улсад хийн түлшний хэрэглээг сурталчлах аюулгүй ажиллагааны удирдамжийг боловсруулсан болно. Аюулгүй байдлын удирдамжийг 2024 оны 6-р сард МЕ-д хүргүүлсэн.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] https://gorgas.mn/products

[2] https://unigas.mn/service-1

[3] Guo Yun, Cao Wei-wu ”Research and Application of the Natural Gas Heater”

[4] Б.Сэргэлэн, Д.Хажидсүрэн, “Агаарын бохирдлыг бууруулахад цэвэр энергийг ашиглах бичил хотхоны цахилгаан хангамжийн шийдлийн судалгаа”, 2023 он.

[5] https://uranchimeg.com/cs301/Lec1.pdf

[6] https://erc.gov.mn/web/mn/tariff-center

ЦАХИЛГААН ТЭЭВРИЙН ХЭРЭГСЛИЙН ЦЭНЭГЛЭХ СТАНЦЫН ЦАХИЛГААН ХАНГАМЖИЙГ СЭРГЭЭГДЭХ ЭРЧИМ ХҮЧЭЭР ШИЙДЭХ БОЛОМЖИЙН СУДАЛГАА

Цэдэнбалын БАСЗУЛ[1] , Мөнх-Очирын БАЯРЖАВХЛАН[1], Бямбаагийн СЭРГЭЛЭН[1], Э.МЯГМАРЖАРГАЛ
[1]Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Цахилгааны инженерийн салбар

Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: tsbaszul89@gmail.com, jawxaajawhaa10@gmail.com, bsergelen@must.edu.mn

Хураангуй: **Шинээр төлөвлөж байгаа шинэ зуун мод хотод "Престиж" хотхон цахилгаан автомашины цэнэглэх станцыг сэргээгдэх эрчим хүчээр шийдэх, өргөн хэрэглэгдэж буй программ хангамжийн тусламжтайгаар төслийн тооцоогоо батлан турших, мөн дэлхий нийтэд асуудал болж буй хүлэмжийн хийг бууруулах, Улаанбаатар хотод тулгамдаж буй автомашины утааг багасгах болон цахилгаан автомашины хэрэглээг дэмжих зорилгоор автомашин цэнэглэх станц (Ev charger)-ийг сэргээгдэх эрчим хүчийг ашиглан бие даасан системийг тооцоолсон болно. Нарны анел болон батарейнаас бүрдэх уг системийг MATLAB программ дээр загварчилсан ба өдөр оройн цагуудад цахилгаан машин цэнэглэх станцын ачааллыг хангалттай хангаж чадаж байна.**

Түлхүүр үг: Цахилгаан машин, цэнэглэх станц , цахилгаан хангамж, сэргээгдэх эрчим хүч, MATLAB программ

I. ОРШИЛ

Дэлхийн хэмжээнд сүүлийн үед сэргээгдэх эрчим хүч нь цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэх гол эх үүсвэр болж байгаа бөгөөд Монгол орны хувьд 2024 оны байдлаар сэргээгдэх эрчим хүчний нийт суурилагдсан хүчин чадал нь 280 МВт байна [1].

Манай орны хувьд нарны цахилгаан станц нь 2024 оны байдлаар нийт суурилагдсан хүчин чадал нь 95 МВт байна. Мөн цахилгаан автомашины хэрэглээ нь жилээс жилд нэмэгдэж байгаа бөгөөд манай улсад 2023 оны сүүлийн сарын байдлаар 1061 цахилгаан автомашин бүртгүүлсэн [2] ба хэрэглэгчийн тоо нэмэгдэхийн хэрээр гол тулгамдаж байгаа асуудал нь цахилгаан автомашин цэнэглэх станц нь тийм ч хүрэлцээтэй биш байгаагаас гадна манай улсын хувьд системийн чадлын алдагдалтай явж байгаа учраас цахилгаан машин цэнэглэх станц (EV charger)-ын тоо нэмэгдэх болбол цахилгаан эрчим хүчээр хангах асуудал гарч ирэх юм. Цахилгаан автомашин нь дуу чимээ багатай, бохирдол үүсгэхгүй тул хүн ам ихтэй суурьшлын бүс нутаг, хотуудад тохиромжтой тээврийн хэрэгсэл бөгөөд сүүлийн үед гол асуудал болох батарейг сайжруулах судалгааг маш эрчимтэй хийж байгаа юм.

Сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсвэрүүд нь уур амьсгалын өөрчлөлттэй тэмцэхэд голлох үүрэг гүйцэтгэдэг. Сэргээгдэх эрчим хүчийг ашиглах нь байгаль орчинд ээлтэй шийдэл болж байгаа төдийгүй эрчим хүчний импортын хараат бус байдлыг бэхжүүлэхэд хувь нэмрээ оруулж байна. Мөн Монгол Улсын Их Хурал 2007 оны 1 дүгээр сарын 11-д (2015 оны 1-р сарын 26-нд шинэчлэн батлсан) [3] сэргээгдэх эрчим хүчний тухай хуулийг батлсан энэ салбарыг хөгжүүлэх гол баримт бичиг юм. Энэхүү хуулийн үндсэн зорилго нь Монгол улсын эрчим хүчний импортын эрчим хүчийг хааж, цаашид зөвхөн өөрийн орны хэрэглээг хангаад зогсохгүй хөрш зэргэлдээ бүс нутаг руу экспортлох бодлогыг хэрэгжүүлэх явдал юм. Манай улсын хувьд цахилгаан автомашиныг хэрэглээндээ нэвтрүүлснээр агаар, хөрс , дуу чимээний бохирдлоос салах бүрэн боломжтой ба 2019 оны хийгдсэн "Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлын эх үүсвэрийг тодорхойлох судалгаа"-ний үр дүнгээс харвал агаарын бохирдлын нийт 10 гаруй хувийг эзэлж байгаа юм [4]. Монгол улсын хувьд сэргээгдэх эрчим хүчний асар их нөөцтэй бөгөөд цахилгаан автомашин цэнэглэх станцыг цахилгаан хангамжийн нэг шийдэл байж болох юм.

Энэхүү өгүүлэл нь дараах бүтэцтэй болно. Судалгааны ажлын объектын тухай 2-р бүлэгт, 3-р бүлэг нь судалгааны ажлын арга зүй, Судалгааны ажлын үр дүнг 4-р бүлэгт оруулсан ба эцэст нь 5-р бүлэгт дүгнэлтийг оруулсан.

II. СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН ОБЬЕКТЫН ТУХАЙ

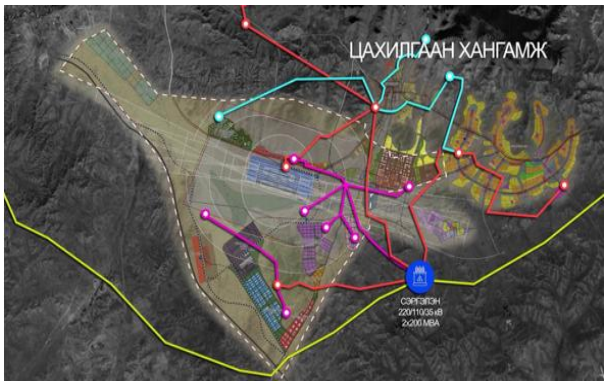
А. Объектын судалгаа

Тус судалгааны ажлын объект нь шинээр төлөвлөж байгаа шинэ зуун мод хотод өргөргийн φ=47.686° -д уртрагийн φ=106.976° -д байрлах 390 айлын, 25 давхар орон сууц бөгөөд нийт 5 блок нийтийн үйлчилгээний зориулалттай "Престиж" хотхон ба тус айлуудын цахилгаан автомашиныг цэнэглэхээр ABB группийн The Terra DC Wallbox маркийн 22.5 кВт-ын чадалтай 3 ширхэг станцыг хотхон дотор байрлуулахаар төлөвлөсөн болно.

1-р зураг. "Престиж" хотхоны газрын зураг дээрх байршил

"Престиж" хотхоны цахилгаан хангамж нь шинээр төлөвлөж буй ТМ-1600/10 маркийн зэрэгцээ трансформатортай дэд станцаас тэжээгдэх ба тус дэд станц нь ТРДЦН-32000/110 маркийн хүчний трансформатортай хуваарилах байгууламжаас

тэжээгдэх юм. Хотын гол бууруулах дэд станц нь Төв аймгийн Сэргэлэн 220/110/35кВ (2х200МВА) дэд станцаас 110 кВ-ын 13.5 км урттай шугамаар тэжээгдэнэ[5].



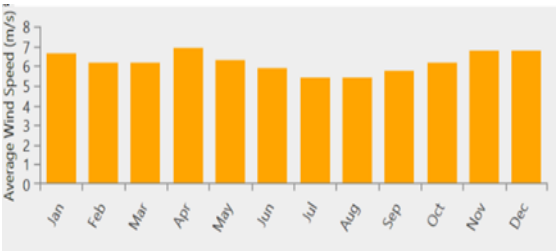
2-р зураг. Төв аймагт баригдахаар төлөвлөгдсөн "СЭРГЭЛЭН" 220/110/35 кВ-ийн 2*200МВА чадалтай дэд станц

Б.Сэргээгдэх эрчим хүчний нөөцийн судалгаа

Нарны цацрагийн тодорхой мэдээллийг өргөргийн 47°89 уртрагийн 106°85 градусын дагуу NASA (Үндэсний Агаар Сансрын Захиргаа)–аас авсан болно. Зураг 3-д 22 жилийн нарны цацрагийн үеийг харуулав[6].

3-р зураг. Нарны цацрагийн үзүүлэлт

Салхины дундаж хурдыг газраас дээш 50 метрийн өндөрт хэмжсэн бөгөөд 10 жилийн хугацаанд сар бүрээр гаргасан.



4-р зураг. Салхины энергийн нөөцийн үзүүлэлт

III. СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН АРГА ЗҮЙ

1. Сар бүрийн дундаж төлөөлөх өдрийн нарны хазайлтын өнцгийг олбол: [7]

$$\delta=23.45\cdot\sin[360\cdot\frac{284+n}{365}] \qquad (1)$$

Энд: δ-нарны хазайлтын өнцөг

n-жилийн эхнээс тоолсон өдрийн дугаар

2. Сар бүрийн дундаж өдрийн хэвтээ гадаргууд нар жаргах үеийн өнцгийг нь олбол:

$$\omega_x=\arccos\cdot(-\tan\varphi\cdot\tan\delta) \qquad (2)$$

3. Сар бүрийн дундаж өдрийн налуу гадаргуу дээрх нар жаргах үеийн өнцгийг олбол:

$$\omega_н=\arccos\cdot(-\tan(\varphi-m)\cdot\tan\delta) \qquad (3)$$

4. Сар бүрийн дундаж өдрийн дэлхийн агаар мандлын гадна тусах нарны нийлбэр цацрагийн хэмжээг олбол:

$$S'_o=\frac{24}{\pi}\cdot S_o[1+0.033\cdot\cos\frac{360\cdot\pi}{365}]\cdot[\cos\varphi\cdot\cos\delta\cdot\sin\omega_x+\frac{2\pi\omega x}{365}\cdot\sin\varphi\cdot\sin\delta \qquad (4)$$

Энд : S_o-Нарны тогтмол 1351 Вт/м^2

5. Сар бүрийн дундаж өдрийн агаарын дундаж үүлшилтийн коэффициентыг олбол:

$$K_{үүл}=\frac{QБ}{S'o} \qquad (5)$$

Энд : $Q_Б$-Хэвтээ гадаргууд тусаж байгаа нийлбэр цацрагийн хэмжээ.Энэ хэмжээг олон жилийн дундаж утгаар авав.

6. Дэлхийн газрын гадаргууд туссан нийлбэр цацрагийн хэмжээг дэлхийн агаар мандлын гадна гадаргууд тусах нарны цацрагийн хэмжээнд харьцуулсан харьцааг олбол:

$$\frac{QБ}{S'o}=1.39-4.027K+5.531K^2-3.108K^3 \qquad (6)$$

7. Сар бүрийн дундаж өдрийн хэвтээ гадаргуугийн цацрагийн налуу гадаргууд шилжүүлэх шилжүүлгийн коэффициент олбол:

$$R_ш=\frac{\cos\delta\cdot\cos(\varphi-m)\cdot\sin\omega н+\pi/180\cdot\omega н\sin\delta\cdot\sin(\varphi-m)}{\cos\delta\cdot\cos\varphi\cdot\sin\omega x+\pi/180\cdot\sin\delta\cdot\sin\varphi} \qquad (7)$$

8.Налуу гадаргуу дээрх нийлбэр цацрагийн шилжүүлэх шилжүүлгийн коэффициент олбол:

$$R=(1-\frac{Qc}{S'o})\cdot R_ш+\frac{Qc}{S'o}\cdot\frac{1-cos45}{2}\cdot\rho(\frac{1-cosm}{2}) \qquad (8)$$

Энд: ρ-Газрын гадаргуугийн ойлголтын коэффициент 0.4 гэх мэт сар бүрт тооцоог хийж, сонгож авав.

9. Сар бүрийн дундаж өдрийн дэлгэцийн гадаргуу дээр ирэх нийлбэр цацрагийн хэмжээг олбол:

$$Q=Q_Б\cdot R \qquad (9)$$

10. Цэнэг хураах системийн хуримтлуулбал зохих нийт энергийг олбол:

$$Э'_{хур}=\frac{(Эхэрөдөр+Эхэршөнө)nбүрх}{DOD\%*10^{-2}*\eta инв}$$

11. Цэнэг хураах системд зэрэгцээ холбогдох батарейн гинжний тоог олбол:

$$N_{акк.зэр}=\frac{Э'_{хур}}{U_{о.акк}*C_{о.акк}*10^{-3}*n_{о.акк}}$$

МАТЛАБ ПРОГРАММ

Нарны эрчим хүчний систем нь нарны гэрлийг цахилгаан болон хувиргахад PV модулийг ашигладаг сэргээгдэх эрчим хүчний системийн нэг юм. Нарны PV систем нь системийн төрөл, газрын байршил болон хэрэгцээнээс хамаарч сонгох ёстой өөр бүрэлдэхүүн хэсгүүдээс тогтоно. Нарны PV системийн гол бүрэлдэхүүн хэсгүүд нь нарны цэнэг хянагч, инвертер, батарейнаас тогтох ба үүн дээр тулгуурлан цаг, нарны радиацын өгөгдлөөс хамааруулан тухайн PV-ний гаргах чадал, гүйдэл инвертерын оролтын гүйдэл зэргийг simulation хийнэ

график болон үр дүнг гарган авахын тулд MATLAB программ нь энэхүү өгүүлэлд ашиглагдсан болно.

IV. СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН ҮР ДҮН

Тус бүлэгт цахилгаан ачааллын тооцоо, цахилгаан машин цэнэглэх станцын цахилгаан хангамжийн тооцоо багтсан болно.

А. Цахилгаан ачааллын тооцоо

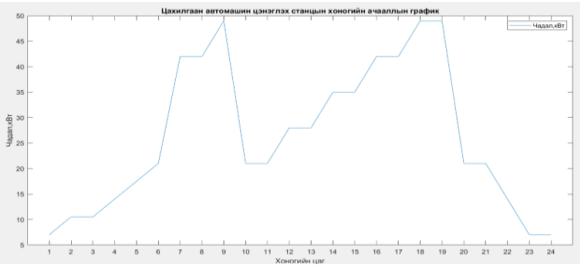
Энэхүү өгүүллэгт зөвхөн цахилгаан автомашин цэнэглэх станцын ачааллыг тооцон сэргээгдэх эрчим хүчний тооцоог хийсэн ба бусад барилга байгууламжийн ачааллын тооцоо ороогүй болно.

ХОТХОНЫ ЦАХИЛГААН АЧААЛАЛ

1-Р ХҮСНЭГТ

Барилгын нэр	Рт.хув, кВт	Ртооц, кВт	S тооц, кВА	cosφ
Барилга 1	1.2175	304.9	327.94	0.93
Барилга 2	1.2175	277.6	298.56	0.93
Барилга 3	1.2175	277.6	298.56	0.93
Барилга 4	1.2175	277.6	298.56	0.93
Барилга 5	1.2175	298.5	320.96	0.93
Кинотеатр	0.1	52.6	55.4	0.95
Сургууль	0.14	73.6	77.5	0.95
Цэцэрлэг	0.4	82.4	85	0.97

Б. Хоногийн ачааллын график



5-р зураг. Цахилгаан автомашин цэнэглэх станцын хоногийн ачааллын график

В. Цахилгаан автомашин цэнэглэх станцын цахилгаан хангамжийн тооцоо

"Престиж" хотхоны цахилгаан автомашин цэнэглэх станцын эрчим хүчний өдрийн цагийн хэрэглээ нь $Э_{хэр}^{өдөр}$=350 кВт*ц, шөнийн хэрэглээ нь $Э_{хэр}^{шөнө}$=283.5 кВт*ц ба өдөрт авах хамгийн их ачааллыг P_{max}=98 кВт байна. Ерөнхий суурилагдсан чадал нь P_{max}=70 кВт.

1. Дэлгэцийн m=45° налуу гадаргууд зуны сард өдөрт тусах нийлбэр цацрагийн хэмжээ нь 5696.245 кВт*ц/м^2 байгаа тул бүтэн нарны цаг нь өдөрт $t_{БН}$ =5.69 цаг болно.

2. Наргүй бүрхэг байх өдрийн тоог $n_{бүрх}$=3 гэж сонгоё.

3. Цэнэг хураагуурт DOD=80% гэж сонгоё

4. Цэнэг хураах системийн хуримтлуулбал зохих нийт энергийг олбол:

$$Э'_{хур} = \frac{(Эхэрөдөр+Эхэршөнө)nбүрх}{DOD\%*10^{-2}*ηинв} = \frac{(350+283,5)*3}{80*10^{-2}*0.9} = 2639.583\ кВт.цаг$$

5.Цэнэг хураах системд зэрэгцээ холбогдох батарейн гинжний тоог олбол:

$$N_{акк.зэр} = \frac{Э'_{хур}}{U_{о.акк}*C_{о.акк}*10^{-3}*n_{о.акк}} = \frac{26396583}{400*750*10^{-3}*11} = 0.799 \approx 1ш$$

6.Цэнэг хураах системд орох аккумляторын нийт тоо ширхэг, нийт хуримтлуулах энерги $Э_{хур}$, мөн батарейн нийлбэр багтаамж $C'_{хур}$ -ийг эцэслэн олбол:

$$N_{акк.эл} = n_{акк.цув} * n_{акк.зэр} = 11*1 = 11ш$$

$$Э_{хур} = 36*750*10^{-3}*11 = 297\ кВт*ц$$

$$C_{хур} = C_{о.хур} * N_{акк.эл} = 750*11 = 8250\ Ампер*ц$$

7.PV системийн нэг гинжинд цуваа холбогдох дэлгэцийн тоог олбол:

$$N_{дэлг.цув} = \frac{U_{сис}}{U_{10}} = \frac{400}{37.1} = 10.78 \approx 11ш$$

8. PV системд зэрэгцээ холбогдох гинжний тоог олбол:

$$n_{дэлг.зэр} = \frac{I_{PV}}{I_{10}} = \frac{483.669}{9.44} = 51.2 \approx 52ш$$

9. PV системд орох нийт дэлгэцийн тоог олбол:

$$N_{дэлг} = n_{дэлг.цув} * n_{дэлг.зэр} = 11*52 = 572ш$$

10. PV системийн гаргах нийлбэр чадал ба өдөрт үйлдвэрлэх эрчим хүчний хэмжээг тодорхойлбол:

$$P_{PV} = p_o * N_{дэлг} = 0.35*572 = 200.2\ кВт$$

$$Э_{PV} = P_{PV} * t_{БН} = 200.2*5.69 = 1139.138\ кВт*ц$$

Тооцооны үр дүнгээс 350 Вт-ын чадалтай 594 ширхэг нарны дэлгэцийг 3 бүл болгон хуваах, тус бүрт 198 ширхэг дэлгэцийг суурилуулна. Нэг бүл бүрт 100 кВт-ын чадалтай инвертерыг тооцооллоо.

Г. Матлаб программ дээр хийсэн сэргээгдэх эрчим хүчний системийн симуляци

1. Хүчний шулуутгуурт шаардлагатай нөлөөмж болон багтаамжийн шүүлтүүрийн хэмжээг тодорхойлох:

P=69300 Вт, V_{dc}=600 В, V_{ac}=400В, f_{sw}=10000 Гц

$$delip = 0.005*\left(\frac{P}{V_{ac}}\right) = 0.005*\left(\frac{69300}{400}\right) = 0.8662$$

$$ma = V_{ac}*\frac{sqrt(2)}{V_{ac}} = 400*\frac{\sqrt{2}}{600} = 0.9428$$

$$L = \left(\frac{2}{3}\right)*\left(\frac{ma*Vdc*(1-ma)}{delip*2*fsw}\right) = \left(\frac{2}{3}\right)*\left(\frac{0.9458*600*(1-0.9428)}{0.8662*2*10000}\right) = 0.0012\ Гн$$

2.Тогтмол хүчдэлийн шулуутруурт шаардагдах шүүлтүүрийн тооцоо:

P=69300, V_{in}=11∗37.1, F_s=10000, V_{out}=600

Loutmax=$\frac{P}{V_{out}} = \frac{69300}{600}$=115.5 A

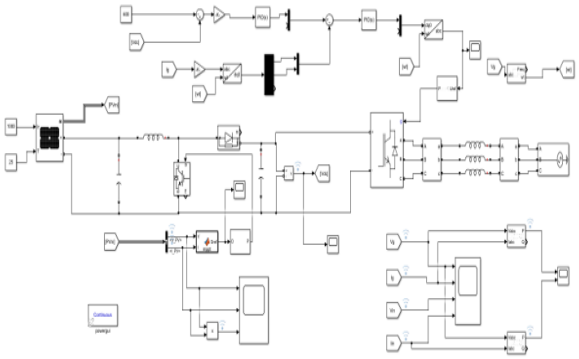
deliL=0.01∗ $loutmax * (V_{out}/V_{in}) = 0..01 * 115.5 * (600/408.1) = 1.6981$

$delv_{out}$=0.01∗V_{out}=0.01∗600=6

L=$\frac{V_{in}*(V_{out}-V_{in})}{devil*fs*V_{out}}$=$\frac{408.1*600-408.1}{1.6981*10000*600}$=0.0077 Гн

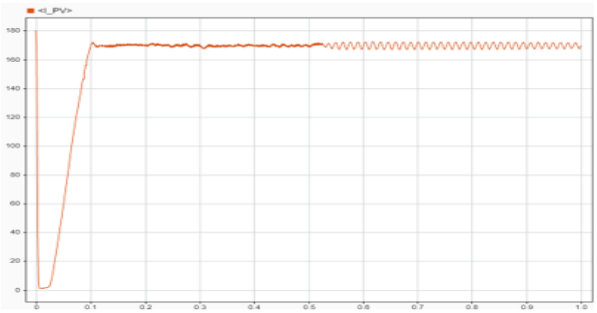
C=$\frac{loutmax * (1-(\frac{V_{in}}{V_{out}}))}{fs*delvout}$=$\frac{115.5 * (1-(\frac{408.1}{600}))}{10000*6}$=0.000615 Фарад

R=$\frac{V_{out}}{l_{outmax}}$=$\frac{600}{115.5}$=5.1948 Ом, d=$\frac{V_{out}-V_{in}}{V_{out}} = \frac{600-408.1}{600}$=0.3198

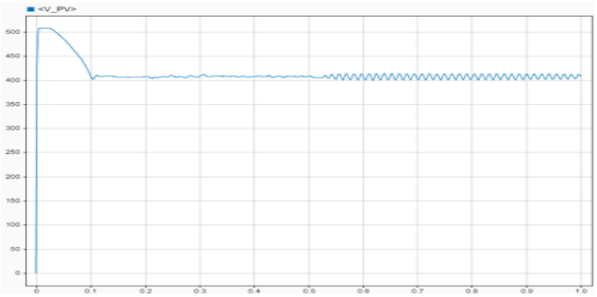


6-р зураг. Системийн загварчлал

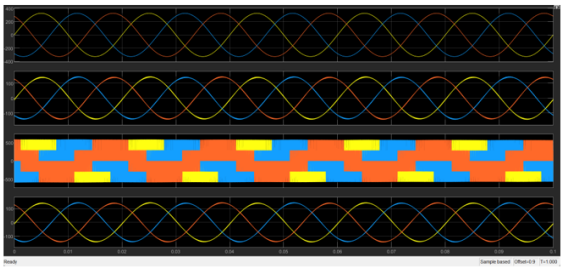
Цэнэглэх станцыг тэжээх нарны панелын загварчлалыг MATLAB программ дээр хийснийг Зураг 6-д үзүүлэв. Үр дүнгээс харахад гаралтын хүчдэл нь цэвэр синуслэг хэлбэртэй хувьсах хүчдэл гарч байна.



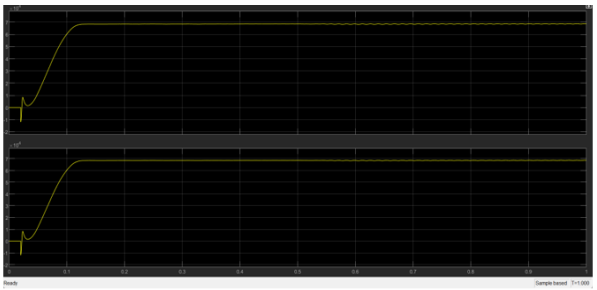
7-р зураг. PV бүлийн гаргах гүйдэл, А



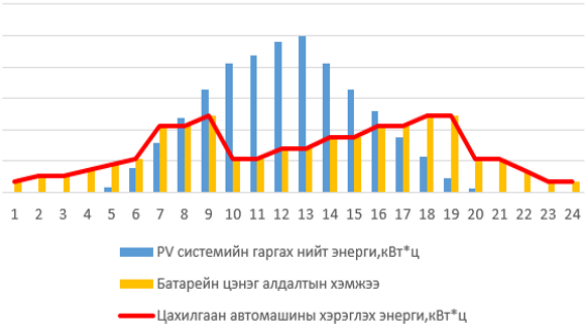
8-р зураг PV бүлийн гаргах хүчдэл, В



9-р зураг. а) Бүлийн гаргах хүчдэлийн хэмжээ, В; б) Бүлийн гаргах гүйдлийн хэмжээ,А ;в) Инверторын оролтын хүчдэл,В; г)Инверторын оролтын гүйдэл, А



10-р зураг. а) Нэг бүлийн гаргах чадлын хэмжээ Вт, б) Инвертерын гаргах чадлын хэмжээ



11-р зураг. Престиж хотхоны цахилгаан автомашин цэнэглэх станцын цахилгаан эрчим хүчний үйлдвэрлэлтийн хэмжээ

Зураг 11-с харахад нарны дэлгэц нь өглөөний 07:00 цагаас цахилгаан эрчим хүчийг үйлдвэрлэж эхлэх ба оройны 06:00 цагт нар буухад үйлдвэрлэл зогсож байна. 08:00-16:00 цагийн хооронд нарны панелаас үйлдвэрлэх цахилгаан эрчим хүчээр цэнэглэх станцын ачааллыг хангалттай хангаж чадах бол үлдсэн 16:00-08:00 цагийн хооронд батарей хуримтлуураас хангах, илүүдэл цахилгаан эрчим хүчийг батарейг цэнэглэх боломжтой юм. Нарны дэлгэц нь зай талбай их эзлэх, анхны хөрөнгө

оруулалт өндөртэй боловч суурилуулсны дараа 25 жил цахилгаан эрчим хүчийг үйлдвэрлэх юм.

ДҮГНЭЛТ

“Престиж’’ хотхонд цахилгаан авто машин цэнэглэх станцыг хийхээр төлөвлөж цахилгаан хангамжийн хувьд сэргээгдэх эрчим хүчийг ашиглан нарны дэлгэц, батарейтай системийг төлөвлөж тооцоолсон болно. “Престиж” хотхон нь өргөргийн φ=47.686° -д уртрагийн φ=106.976° -д байрлах ба үүн дээр үндэслэн дэлгэцийн налуу гадаргуу дээр буух нарны нийлбэр цацрагийн хэмжээг тодорхойлж, цахилгаан автомашины хоногийн ачааллын график дээр үндэслэн бие даасан PV системийн тооцоог хийсний үр дүнд нийт 572 ширхэг нарны дэлгэцтэй хийхээр тооцоологдсон. Нийт нарны цахилгаан станцыг 3 бүлэгт хэсэгт хуваж бүл тус бүрд 198 ширхэг нарны дэлгэц, нийт 594 ширхэг нарны дэлгэцтэй хийхээр эцэслэн төлөвлөсөн.Энэхүү нарны цахилгаан станц нь “Престиж’’ хотхоны цахилгаан автомашин цэнэглэх станцын өдрийн хэрэглээг хангаж чадах эсэхийг тооцоолохдоо НАСА-гийн нарны цацрагийн хэмжээний дата өгөгдлийг авч хийн харьцуулахад график дээр өдрийн цагийн үед хангалттай хангаж чадах ба оройн цагийн үед батарейн систем автомашин цэнэглэх станцын хэрэглээг хангалттай нөхөж байна гэдгийг илэрхийлж байна. Энэхүү тооцоог батлахын тулд сонгож авсан дэлгэц болон инвертерын системийн өгөгдлүүдийг МАТЛАВ программ дээр хийн загварчилж, цэвэр хувьсах хүчдэлийг гаргасан. Үүний үр дүнд “Престиж’’ хотхоны цахилгаан автомашин цэнэглэх станцад тус бүрт $P_{\text{суурь}} = 22.5\text{кВт}$ нийт $P_{\text{цэн}} = 67.5\text{кВт}$. чадал бүхий ABB группийн ThebTerra DC Wallbox маркийн цэнэглэх станцыг сонгон авсан ба нарны дэлгэц, батарейтай систем нь цэнэглэх станцын ачааллыг хангалттай хангаж чадахаар найдвартай, байгальд ээлтэй систем юм.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] “Renewable capacity statistics”, 2024

[2] https://www.mnb.mn/i/305627

[3] Сэргээгдэх эрчим хүчний тухай хууль, https://legalinfo.mn/mn/detail/465

[4] Орчны бохирдлыг бууруулах үндэсний хөтөлбөр, https://www.ncrep.gov.mn/national-program

[5] New zuun mod, a satellite city, 2024, https://cdn.greensoft.mn/uploads/users/1977/files/BNHAU-forum(English)-final.pdf

[6] NASA мэдээллийн сан, https://power/larc.nasa.gov/data-access/viewer/

[7] З.Цэрэндорж, Ц.Эрдэнэтуяа, Сэргээгдэх эрчим хүчний хэрэглээ ба энерги хуримтлуур,. Улаанбаатар, 2014

ДОРНОД АЙМГИЙН 6 КВ-ЫН ЦАХИЛГААН ШУГАМ СҮЛЖЭЭНИЙ ЧОЙБАЛСАН ФИДЕРИЙН ЭРЧМИЙН АЛДАГДЛЫГ БУУРУУЛАХ СУДАЛГАА

Лхагвасүрэнгийн ЭНХ-АМЬДРАЛ[1], Пүрэвжавын ЭРХЭМТӨР[1], Чулуунбатын АМАРБАЯСГАЛАН[2], Цэрэндоржийн БОЛДБААТАР[3], Дарийн СОДНОМДОРЖ[1]

Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Цахилгааны инженерийн салбар

ХААИС, Инженер технологийн сургууль, Цахилгаан хангамж, электроникийн тэнхим

**Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: amidral923@gmail.com, erkhemtur@must.edu.mn, ch.amarbaysgalan@gmail.com, boldoo4879@gmail.com*

***Хураангуй*: ДБЭХС нь Дорнод, Сүхбаатар аймгийн хэрэглэгчдийг мөн томоохон уул уурхайн компаниудыг цахилгаан, дулааны эрчим хүчээр хангадаг ДЦС юм. Жилээс жилд хүн амын өсөлт, хүмүүсийн шилжилт хөдөлгөөн гэх мэт хүчин зүйлүүдээс хамаарч, эрчим хүчний хэрэглээ улам бүр өссөөр байна. Хуваарилах сүлжээний ашигтай ажиллагааны гол үзүүлэлтүүдийн нэг нь эрчмийн алдагдал билээ. Үүнтэй холбоотойгоор аймгийн төвийн үндсэн хэрэглэгчдийг тэжээдэг Чойбалсан фидерийн эрчмийн алдагдлын судалгааг хийж, түүнийг бууруулах 5 хувилбарыг авч үзэн, хувилбар тус бүрийн чадлын урсгалын тооцоог power factory программ ашиглан бодож, эрчмийн алдагдлыг тодорхойлов. Өвлийн их ачааллын үеийн тооцооны үр дүнг хувилбар тус бүртэй харьцуулсан судалгааг хийж гүйцэтгэсэн болно.**

Түлхүүр үг: эрчмийн алдагдал, эрчмийн алдагдал бууруулах, нарны бичил үүсгүүр

I. Оршил

Цахилгаан эрчим хүч нь үүсгэгчээс өндөр ба нам хүчдэлийн цахилгаан дамжуулах агаарын болон кабель шугам, өсгөх ба бууруулах трансформаторaар дамжуулан хэрэглэгчдэд түгээж хүргэх явцад өөрийнхөө тодорхой хэсгийг зарцуулан алдаж байдаг онцгой бүтээгдэхүүн юм. Энэхүү цахилгаан эрчим хүчийг дамжуулах үед зарцуулж байгаа эрчим хүчийг цахилгаан шугам сүлжээний эрчмийн (эрчим хүчний) алдагдал гэж нэрлэдэг[1]. Эрчим хүчийг үр ашигтай ашиглахын тулд түүнийг үйлдвэрлэх, дамжуулах, хуваарилах, хэрэглэх гэсэн эрчим хүчний бүхэл бүтэн системийн асуудал бөгөөд технологийн дамжлага тус бүрт гарах техникийн алдагдлыг хамгийн бага байлгах шаардлагатай байдаг[2]. Манай орны цахилгаан шугам сүлжээ (ЦШС)-ний, ялангуяа цахилгаан дамжуулах агаарын шугам (ЦДАШ)-ын эрчмийн алдагдлын түвшин хэрэглэгчийн ачаалал эрс өссөнтэй уялдан сүүлийн жилүүдэд ихсэж байна. Ийм учраас цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын алдагдлыг үнэн зөв тодорхойлж, алдагдал ихтэй элементүүдийг илрүүлэх, түүнийг бууруулах техникийн болон зохион байгуулалтын арга хэмжээг төлөвлөж хэрэгжүүлэх, улмаар техник-эдийн засгийн үр ашгийн тооцоог хийх зайлшгүй шаардлагатай юм[3]. Шугам сүлжээний техникийн алдагдлыг зөвхөн тооцооны аргаар л тодорхойлдог. 6,10 кВ-ын сүлжээний хувьд салбарлалт маш ихтэй, нэг фидерт олон дэд станц холбогдсон байдаг. Иймээс элемент бүрийн хэмжилтийг тогтмол хэмжиж авах боломжгүй тул эрчмийн алдагдлын тооцоонд математик статистик ба магадлалын онолын төрөл бүрийн арга, эсвэл эквивалент загварт тулгуурласан эрчмийн алдагдлын тооцооны аргуудыг ашигладаг. Эдгээр алдагдлыг тооцоолох аргачлалууд нь анхдагч мэдээллийг бүрдүүлэх боломжтой практикт хэрэглэхэд боломжтой аргачлал юм[4].

Эрчмийн алдагдлын тооцоо: Энэхүү судалгааны ажилд эрчмийн алдагдлыг хамгийн их ачааллын болон их алдагдлын хугацааг ашиглан тооцоолсон болно.

Хамгийн их ачааллыг ашиглах хугацаа:

$$\mathrm{T}_{\text{НБ}} = \frac{\Sigma_{i=1}^{12} P_i t_i}{P_{max}} \tag{1}$$

Алдагдлын хугацаа:

$$\tau = \frac{\Sigma_{i=1}^{12} P^2{}_i t_i}{P_{max}^2} \tag{2}$$

Эрчмийн алдагдлыг тодорхойлохын тулд шугам сүлжээний толгойн хэсгээр дамжсан эрчим хүчийг олно.

$$W_{\text{тол}} = P_{\text{тол}}^{\text{эх}} \cdot T_{\text{НБ}} \tag{3}$$

Шугамын нийт эрчмийн алдагдал:

$$\Delta W_{\Sigma}^{\text{ш}} = \Delta P_{\Sigma}^{\text{ш}} \cdot \tau \tag{4}$$

Трансформаторын ган дээрх нийт эрчмийн алдагдал:

$$\Delta W_{\Sigma}^{\text{хх}} = \Delta P_{\Sigma}^{\text{хх}} \cdot \tau \tag{5}$$

Трансформаторын ороомог дээрх нийт эрчмийн алдагдал:

$$\Delta W_{\Sigma}^{\text{т.о}} = \Delta P_{\Sigma}^{\text{т.о}} \cdot \tau \tag{6}$$

Нийлбэр бодит эрчмийн алдагдал:

$$\Delta W_{\Sigma} = \Delta W_{\Sigma}^{\text{ш}} + \Delta W_{\Sigma}^{\text{хх}} + \Delta W_{\Sigma}^{\text{т.о}} \tag{7}$$

Нийлбэр бодит эрчмийн алдагдал, %-иар:

$$\Delta W_{\Sigma,\%} = \frac{\Delta W_{\Sigma}}{W_{\text{тол}}} \cdot 100\% \tag{8}$$

Эрчмийн алдагдал, %-иар:

$$\Delta W_{ш,\%} = \frac{\Delta W_{ш}}{\Delta W_{\Sigma}} \cdot 100\%$$

$$\Delta W_{хх,\%} = \frac{\Delta W_{хх}}{\Delta W_{\Sigma}} \cdot 100\%$$

$$\Delta W_{т.о,\%} = \frac{\Delta W_{т.о}}{\Delta W_{\Sigma}} \cdot 100\% \qquad (9)$$

Нарны бичил үүсгүүр: Эрчим хүчний хөгжлийн урт хугацааны төлөвлөгөөнд шавхагдашгүй, хүртээмжтэй эх үүсвэр хэрэгтэй[5]. Нар бол дэлхийн хамгийн их эрчим хүчний эх үүсвэр юм. Байгалийн гаралтай нарны эрчим хүч дэлхийн гадаргуу дээр $120*10^{15}$ Вт хүрдэг бөгөөд энэ нь нарнаас нэг өдрийн дотор авсан эрчим хүчний хэмжээ нь дэлхийн нийт эрчим хүчний хэрэгцээг 20 гаруй жилийн хугацаанд хангах боломжтой гэсэн үг юм[6]. Сүүлийн үед олон улсад энергийн тархмал эх үүсвэр, бага оврын тархмал эх үүсвэр гэсэн нэр томьёо, техник технологи ихээр дэлгэрч маш эрчимтэй судлагдан амьдралд хэрэгжиж нэгэн төрлийн тренд болоод байгаа билээ. Тэгвэл энэ элементийг хуваарилах, түгээх шугам сүлжээний үр ашгийг дээшлүүлэх өөрөөр хэлбэл эрчмийн алдагдлыг бууруулах болон эрчмийн чанарыг дээшлүүлэхэд хэрэглэх асуудал зүй ёсоор тавигдаж байна[7]. Монгол орны хувьд бүс нутаг дэвсгэрт ирэх нарны цацраг энергийн хэмжээ дэлхийн нийт гадаргууд ирэх нарны энергийн дундажтай харьцуулахад их байдаг. Жилд ойролцоогоор 1190-14000 кВт.ц/м^2 ирдэг ба өдөрт ирэх нарны цацрагийн дундаж утга ойролцоогоор 3438 кВт.ц/м^2, эрчимжилт нь өдөрт 4.3-4.7 кВт.ц/м^2 байгаа нь нарны эрчим хүчний системийг ашиглах давуу талтай байгааг илтгэж байна[8].

II. СУДАЛГААНЫ ОБЪЕКТ, ӨГӨГДӨЛ

Энэ судалгаанд Дорнодын 6 кВ-ын цахилгаан шугам сүлжээний Чойбалсан фидерийг сонгон авсан 26 дэд станц, 100-400 кВА номиналь чадал бүхий 26 трансформатортай, салаалсан шугамтайгаа нийт шугамын урт 15.69 км, үүнээс А-95 маркийн 10.06 км, АС-50 маркийн 0.141 км, АС-35 маркийн 0.55 км дамжуулагч бүхий агаарын шугамтай, ААБ-150 маркийн 3.7 км, ААБ-120 маркийн 0.25 км, ААБ-70 маркийн 0.27 км, XLPE-185 маркийн 0.71 км дамжуулагч бүхий кабель шугамтай фидер бөгөөд хамгийн их ачаалагдсан, эрчмийн алдагдлын хувь өндөр байгаа сүлжээ юм.

Юуны өмнө 2023 оны өвлийн их ачааллын хэмжилтийн утгаар горимын тооцоог хийж гүйцэтгэсэн ба нийт 5 хувилбар бүхий горимын тооцоог хийж, их ачааллын болон их алдагдлын хугацааг ашиглан эрчмийн алдагдлыг хувилбар тус бүр дээр тооцоолж үр дүнг харьцуулан гаргасан болно. Үүнд:

1-р хувилбар: Номиналь чадлынхаа 30%-иас доош ачаалагдсан трансформатортай нийт 14 дэд станцын трансформаторыг бага чадалтай трансформатораар сольсон үеийн тооцоо

2-р хувилбар: Сүлжээний хүчдэлийг 10 кВ болгон өсгөхөд өөрчлөгдсөн үеийн тооцоо

3-р хувилбар: ТМ-250 маркийн трансформатортай КТП-47 дэд станцын 0.4 кВ талд нарны бичил үүсгүүр холбосон, гаргалгын эхнээс дэд станц хүртэлх шугамын урт 14.55 км

4-р хувилбар: S11-250 маркийн трансформатортай МТП-228 дэд станцын 0.4 кВ талд нарны бичил үүсгүүр холбосон, гаргалгын эхнээс дэд станц хүртэлх шугамын урт 14.29 км

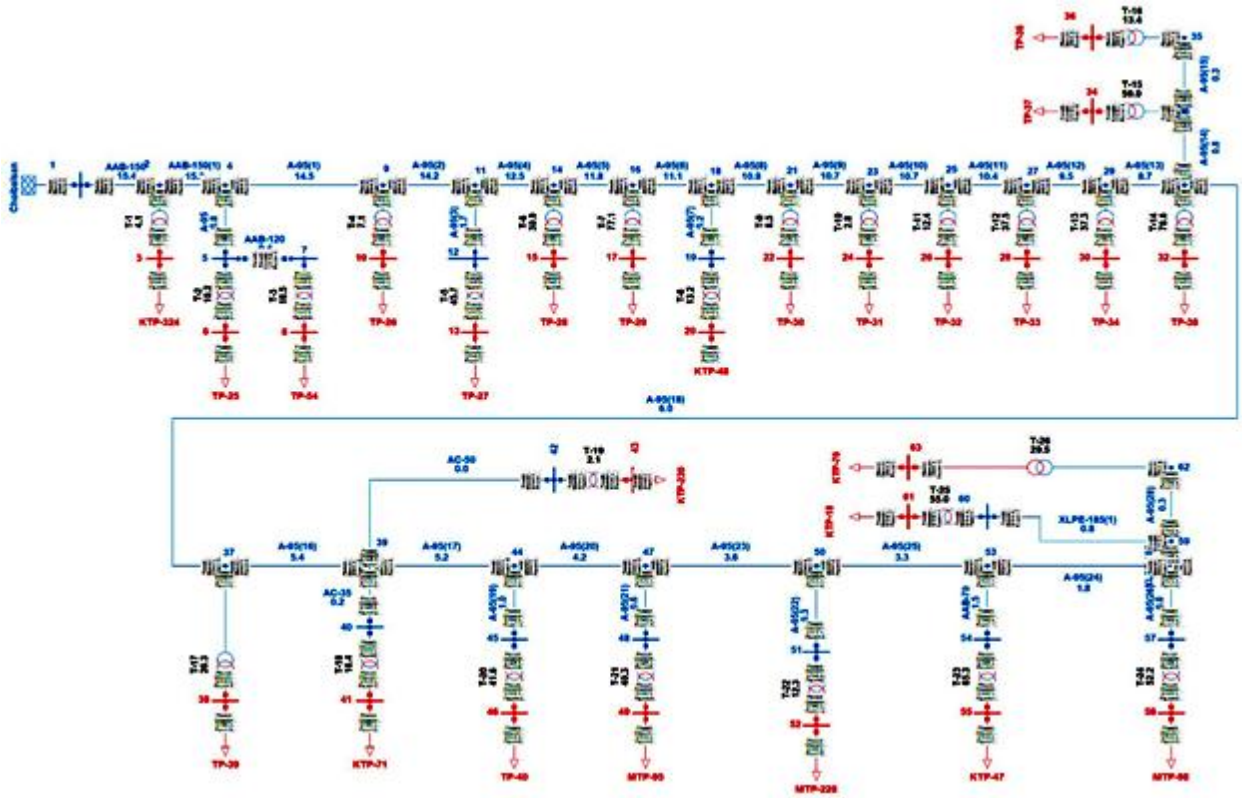
5-р хувилбар: ТМ-250 маркийн трансформатортай ТП-40 дэд станцын 0.4 кВ талд нарны бичил үүсгүүр холбосон, гаргалгын эхнээс дэд станц хүртэлх шугамын урт 13.41 км, гэсэн тохиолдлуудыг авч үзлээ.

3,4,5-р хувилбарын хувьд нарны бичил үүсгүүр нь 500 кВт суурилагдсан чадалтай, үүнээс нарны панелийн чадал 300 кВт, аккумляторын батарей 200 кВт чадалтай оройн их ачааллын үед тодорхой хугацаанд бүрэн ажиллах боломжтой, ажиллаж байх үеийн хамгийн их гаргах чадал өдрийн цагаар 300 кВт, оройн цагаар 200 кВт байхаар сонгон авлаа [9].

Энэхүү өгүүллийн I хэсэгт оршил болон онолын хэсэг, II хэсэгт судалгааны ажлын объектын тухай, III хэсэгт чадал, эрчмийн алдагдлын үр дүн, IV хэсэгт дүгнэлт тус тус оруулсан болно.

III. ГОРИМ, ЭРЧМИЙН АЛДАГДЛЫН ТООЦООНЫ ҮР ДҮН

Анхдагч өгөгдлийг ашиглан хувилбар тус бүрийн өвлийн их ачааллын горимын тооцоог Power Factory программ ашиглан гүйцэтгэсэн бөгөөд үр дүнгээр эрчмийн алдагдлыг тодорхойлсон. Чадлын урсгалын тооцооны үр дүнг 1-р зурагт үзүүлэв. Чадал, эрчмийн алдагдлын үр дүнг 1-р хүснэгтэд харуулав.



1-р Зураг. Power Factory программ ашиглан бодсон Чойбалсан фидерийн чадлын урсгалын тооцооны үр дүн

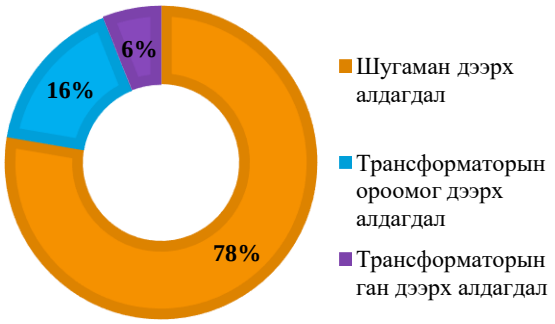
ӨВЛИЙН ИХ АЧААЛЛЫН ГОРИМЫН ЧАДАЛ, ЭРЧМИЙН АЛДАГДЛЫН ҮР ДҮН

1-Р ХҮСНЭГТ

Өвлийн их ачааллын горим	Чадлын алдагдал		Эрчмийн алдагдал	
	кВт	%	мян кВт.ц	%
Шугаман дээрх алдагдал	145.1	86.3	417.9	74.4
Трансформаторын ган дээрх алдагдал	13.1	7.8	115.1	20.5
Трансформаторын ороомог дээрх алдагдал	9.8	5.8	28.3	5.0
Нийт алдагдал	168.1	10.5	561.4	7.8

1-р хувилбар:

Энэ хувилбарт 30%-аас доош ачаалагдсан трансформатортай нийт 14 дэд станцуудын трансформаторын чадлыг багасган, горимын тооцоог гүйцэтгэсэн. КТП-324 дэд станцын трансформаторыг S11-250-аас S11-100, ТП-25 дэд станцыг S11-400-ээс S11-160, ТП-54 дэд станцыг ТМ-250-аас ТМ-160, ТП-26 дэд станцыг S11-400-ээс S11-160, КТП-48 дэд станцыг ТМ-160-аас ТМ-100, ТП-30 дэд станцыг S11-250-аас S11-100, ТП-31 дэд станцыг S11-250-аас S11-100, ТП-32 дэд станцыг S11-250-аас S11-160, ТП-33 дэд станцыг ТМ-400-ээс ТМ-160, ТП-36 дэд станцыг S11-250-аас S11-100, ТП-39 дэд станцыг ТМ-250-аас ТМ-160, КТП-71 дэд станцыг ТМ-160-аас ТМ-100, КТП-230 дэд станцыг S11-100-аас S11-63, МТП-228 дэд станцыг S11-250-аас S11-100 болгон бууруулж тооцоог гүйцэтгэн эрчмийн алдагдлын үр дүнг 2-р зурагт үзүүлэв.

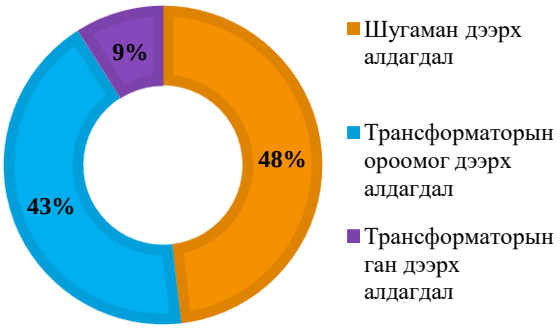


2-р зураг. 1-р хувилбарын эрчмийн алдагдлын үр дүн

Өвлийн их ачааллын эрчмийн алдагдлын тооцоотой харьцуулахад шугаман дээрх алдагдал 417.9 мян кВт.ц-аас 415.6 мян кВт.ц болж, 0.55%-иар, трансформаторын ган дээрх алдагдал 115.1 мян кВт.ц-аас 87.2 мян кВт.ц болж, 24.3%-иар буурсан, трансформаторын ороомог дээрх алдагдал 28.3 мян кВт.ц-аас 32.2 мян кВт.ц болж, 13.7%-иар өссөн үзүүлэлттэй байна.

2-р хувилбар:

Энэ хувилбарт сүлжээний хүчдэлийг 10 кВ болгон өсгөж, тооцоог гүйцэтгэсэн. Эрчмийн алдагдлын үр дүнг 3-р зурагт үзүүлэв.

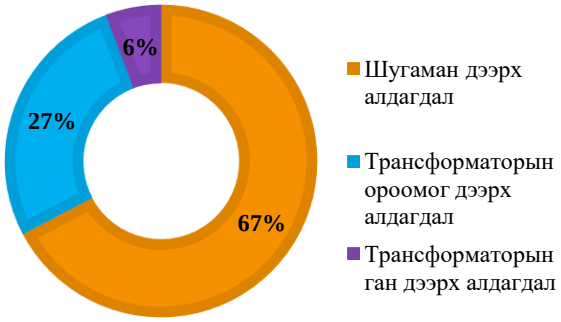


3-р зураг. 2-р хувилбарын эрчмийн алдагдлын үр дүн

Өвлийн их ачааллын эрчмийн алдагдлын тооцоотой харьцуулахад шугаман дээрх алдагдал 417.9 мян кВт.ц-аас 129.4 мян кВт.ц болж, 69.03%-иар, трансформаторын ган дээрх алдагдал өөрчлөгдөөгүй, трансформаторын ороомог дээрх алдагдал 28.3 мян кВт.ц-аас 24.2 мян кВт.ц болж, 14.7%-иар буурсан үзүүлэлттэй байна.

3-р хувилбар:

Энэ хувилбарт КТП-47 дэд станцын 0.4 кВ талд 200 кВт чадалтай нарны бичил үүсгүүр суурилуулсан үр дүнг 4-р зурагт үзүүлэв.

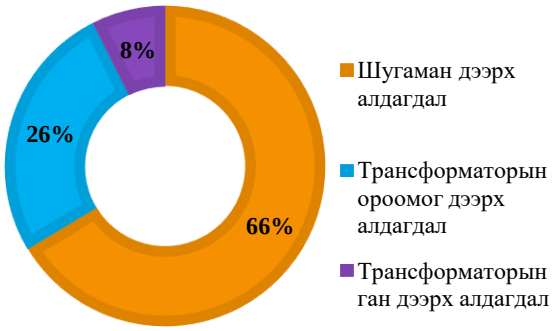


4-р зураг. 3-р хувилбарын эрчмийн алдагдлын үр дүн

Өвлийн их ачааллын эрчмийн алдагдлын тооцоотой харьцуулахад шугаман дээрх алдагдал 417.9 мян кВт.ц-аас 287.1 мян кВт.ц болж, 31.3%-иар, трансформаторын ган дээрх алдагдал өөрчлөгдөөгүй, трансформаторын ороомог дээрх алдагдал 28.3 мян кВт.ц-аас 24.5 мян кВт.ц болж, 13.5%-иар буурсан үзүүлэлттэй байна.

4-р хувилбар:

Энэ хувилбарт МТП-228 дэд станцын 0.4 кВ талд 200 кВт чадалтай нарны бичил үүсгүүр суурилуулсан үр дүнг 5-р зурагт үзүүлэв.

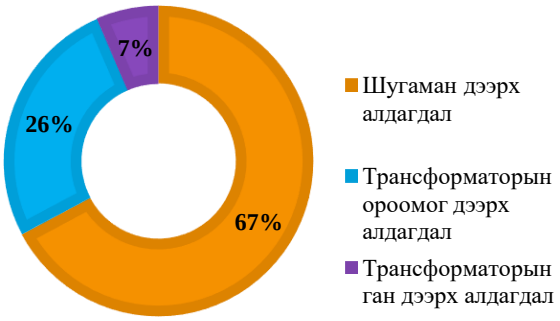


5-р зураг. 4-р хувилбарын эрчмийн алдагдлын үр дүн

Өвлийн их ачааллын эрчмийн алдагдлын тооцоотой харьцуулахад шугаман дээрх алдагдал 417.9 мян кВт.ц-аас 291.9 мян кВт.ц болж, 30.1%-аар, трансформаторын ган дээрх алдагдал өөрчлөгдөөгүй, трансформаторын ороомог дээрх алдагдал 28.3 мян кВт.ц-аас 32.6 мян кВт.ц болж, 15,2%-аар буурсан үзүүлэлттэй байна.

5-р хувилбар:

Энэ хувилбарт ТП-40 дэд станцын 0.4 кВ талд 200 кВт чадалтай нарны бичил үүсгүүр суурилуулсан үр дүнг 6-р зурагт үзүүлэв.



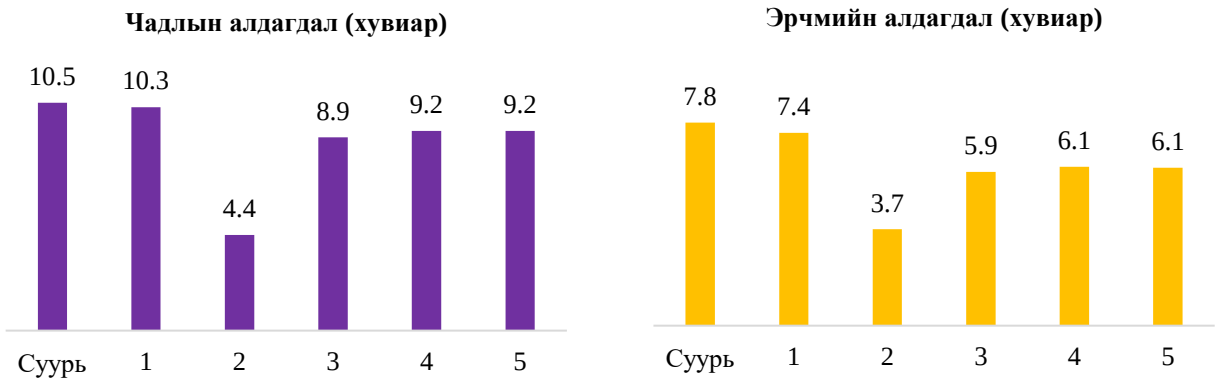
6-р зураг. 5-р хувилбарын эрчмийн алдагдлын үр дүн

Өвлийн их ачааллын эрчмийн алдагдлын тооцоотой харьцуулахад шугаман дээрх алдагдал 417.9 мян кВт.ц-аас 293.7 мян кВт.ц болж, 29.7%-иар, трансформаторын ган дээрх алдагдал өөрчлөгдөөгүй, трансформаторын ороомог дээрх алдагдал 28.3 мян кВт.ц-аас 28.3 мян кВт.ц болж, 0.07%-иар өссөн үзүүлэлттэй байна.

Хувилбар тус бүрийн тооцооноос харахад бодит, хуурмаг, бүрэн чадлын урсгал нь буурсан үзүүлэлттэй байна. Нийлбэр чадлын болон эрчмийн алдагдлын харьцуулсан графикийг 7-р зурагт харуулав. Хувилбар тус бүр дээрх чадал, эрчмийн алдагдлын тооцоог 2-р хүснэгт-д харуулав.

Харин эрчмийн алдагдлын бүтцээр авч үзвэл шугам дахь алдагдал буурсан үзүүлэлттэй, трансформаторын хоосон явалтын алдагдал болон трансформаторын ороомог дахь алдагдал бага

хэмжээний өөрчлөлттэй гарсан байна. 8-р зурагт харуулав.

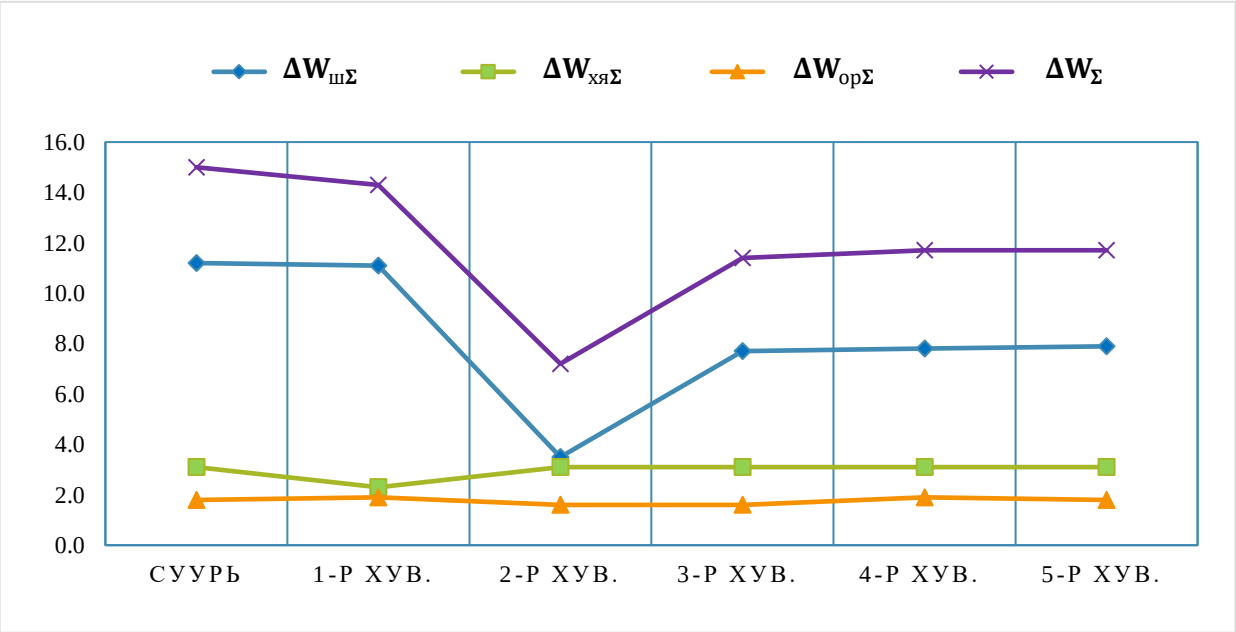


7-р зураг. Хувилбар тус бүрийн чадал, эрчмийн алдагдлын тооцооны үр дүн

ЧАДАЛ, ЭРЧМИЙН АЛДАГДЛЫН ТООЦООНЫ ҮР ДҮН

2-Р ХҮСНЭГТ

Д/д	Хувилбар	Толгойн хэсгийн чадлын урсгал			Бодит чадлын алдагдлын үр дүн, %				Эрчмийн алдагдлын үр дүн, мян.кВт.ц				Эрчмийн алдагдлын үр дүн, %			
		$P_Т$, кВт	$Q_Т$, кВар	$S_Т$, кВА	$\Delta P_{ш\Sigma}$	$\Delta P_{хя\Sigma}$	$\Delta P_{ор\Sigma}$	ΔP_{Σ}	$\Delta W_{ш\Sigma}$	$\Delta W_{хя\Sigma}$	$\Delta W_{ор\Sigma}$	ΔW_{Σ}	$\Delta W_{ш\Sigma}$	$\Delta W_{хя\Sigma}$	$\Delta W_{ор\Sigma}$	ΔW_{Σ}
1	Суурь	1604.2	626.7	1722.2	86.3	7.8	5.9	10.5	418.0	115.1	28.3	561.4	74.5	20.5	5.0	7.8
2	1-р хувилбар	1601.5	619.7	1717.2	87.2	6.0	6.8	10.3	415.6	87.2	32.2	535.0	77.7	16.3	6.0	7.4
3	2-р хувилбар	1502.6	539.1	1596.4	67.6	19.8	12.6	4.4	129.4	115.1	24.2	268.7	48.2	42.8	9.0	3.7
4	3-р хувилбар	1357.4	583.0	1477.3	82.2	10.8	7.0	8.9	287.1	115.1	24.5	426.7	67.3	27.0	5.7	5.9
5	4-р хувилбар	1361.9	592.9	1485.4	80.6	10.4	9.0	9.2	292.0	115.1	32.6	439.7	66.4	26.2	7.4	6.1
6	5-р хувилбар	1361.0	589.3	1483.1	81.6	10.5	7.9	9.2	293.7	115.1	28.3	437.1	67.2	26.3	6.5	6.1



8-р зураг. Эрчмийн алдагдлын өөрчлөлтийн хамаарал

IV. ДҮГНЭЛТ

Хувилбар тус бүрийн тооцоог нэгтгэн дүгнэвэл 1-р хувилбар нь өвлийн их ачааллын үеийн суурь тооцооноос 5.1%-иар буурсан буюу бараг ялгаа байхгүй, ойролцоо харагдаж байна. 2-р хувилбар дээр эрчмийн алдагдал (ΔW_{Σ}) нь 3.7% буюу суурь тооцоотой харьцуулахад 52.5%-иар бага, 1-р хувилбараас 50%-иар бага, 4-р хувилбараас 37.3%-иар бага, 5,6-р хувилбараас 39.3%-иар бага байна. Энэ нь бусад хувилбарыг бодвол эрчмийн алдагдал хамгийн бага харагдаж байна. Гэвч сүлжээний хүчдэлийг өсгөх нь тухайн цахилгаан шугам сүлжээний дамжуулагч, тулгуур, трансформатор, шугам гээд бүх тоноглолыг шинэчлэх шаардлага гарах учир хүндрэл үүснэ.

Харин 3,4,5-р хувилбар буюу нарны бичил үүсгүүрийг сүлжээний өөр өөр цэгт холбосон нь гаргалгын эхнээс дэд станц хүртэлх зайнаас хамаарч, эрчмийн алдагдал 21.8-24.4%-иар буурсан байна. Зай нь хол байх тусам эрчмийн алдагдал багассан үзүүлэлттэй байна. Тиймээс энэ нь бүхэл бүтэн шугам сүлжээг шинэчлэн өргөтгөх ажилтай харьцуулбал уламжлалт чулуужсан эх үүсвэрээс татгалзаж байгаа өнөө үед байгалийн шавхагдашгүй нөөц үүсгүүр болох сэргээгдэх эрчим хүчийг ашиглаж байгаагаараа давуу талтай хувилбар болно.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] Ш. Гантөмөр “Цахилгаан шугам сүлжээ, систем” Улаанбаатар, Соёмбо принтинг 2017 он. -787 х.

[2] Я.Ганзориг “Баруун бүсийн эрчим хүчний системийн 110кВ-ын цахилгаан шугам сүлжээний горим чадал эрчмийн алдагдлын тооцоо программ хангамж” Эрчим хүч&Engineering. Улаанбаатар, №26/254, 2021 оны 3-р сар

[3] Д.Содномдорж “Цахилгаан эрчим хүчний системийн горимын цогцолбор судлал ба математик загварчлал. Шилмэл бүтээл. Улаанбаатар, 2012 он. -827 х.

[4] Э. Жаргалтуяа, Ш. Гантөмөр “Чойрын 6 кВ хуваарилах цахилгаан шугам сүлжээний техникийн алдагдлыг бууруулснаар гарах үр ашиг” Эрчим хүч&Engineering. Улаанбаатар, №253, 2019 оны 3-р сар.

[5] Maka AO, Alabid JM. Solar energy technology and its roles in sustainable development. Clean Energy. 2022 Jun 1;6(3):476-83.

[6] Khan J, Arsalan MH. Solar power technologies for sustainable electricity generation–A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016 Mar 1;55:414-25.

[7] П. Эрхэмтөр, Ж. Баатархүү, Л. Хэрлэнтуяа “Хуваарилах сүлжээний эрчмийн алдагдлыг бууруулахад нарны бичил станц ашиглах асуудал” Эрчим хүч&Engineering. Улаанбаатар, №245, 2024 оны 7-р сар.

[8] Л. Амарбат, Б. Балжинням, Б. Баасансүрэн “Нарны эрчим хүчийг ашиглан эрчим хүчний хэмнэлт гаргах боломж” Эрчим хүч&Engineering. Улаанбаатар, №224, 2022 оны 10-р сар.

[9] Федоров В. К., Леонов Е. Н., Федоров Д. В. Влияние распределенной генерации на потери и качество электрической энергии// Омский научный вестник №6, 2016 (150). С 72-76.

ТӨВИЙН БҮСИЙН ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ СИСТЕМИЙН ИХ АЧААЛЛЫН МАТЕМАТИК ЗАГВАРЧЛАЛ

Нямжавын ГАН-ЭРДЭНЭ, Шагдарсүрэнгийн ГАНТӨМӨР
Монгол улс, Шинжлэх ухаан технологийн их сургууль, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль,
Цахилгааны инженерийн салбар
Холбогдох зохиогчийн и-мэйл хаяг: nymjawganerdene@gmail.com, gantumur2020@must.edu.mn

Хураангуй: **Сүүлийн жилүүдэд манай улсын эрчим хүчний салбарын хэрэглээ хурдацтай өсөж улмаар эх үүсвэрийн дутагдлын асуудал улам хүчтэй яригдах болсон нь эрчим хүчний салбарынхны гол бэрхшээл болоод байна. Тэгвэл эрчим хүчний хэрэглээний цаашдын өсөлт чиг хандлагыг өнөөгийн эрчим хүчний хэрэглээн дээр тулгуурлан тодорхойлж судлах нь салбарынхны гол асуудал юм. Тиймээс энэ судалгааг 2020-2023 оны бодит эрчим хүчний хэрэглээн дээр тулгуурлан ирэх 10 жилийн хугацаанд Microsoft Excel–ийн орчинд олон хэмжээст регрессийн загварын аргыг ашиглан төлөвлөлтийг хийж гүйцэтгэлээ.**

Түлхүүр үг: Регресс, олох хэмжээст регресс, цахилгаан эрчим хүч

I. УДИРТГАЛ

Эрчим хүчний салбар нь Монгол улсын үндэсний аюулгүй бие даасан байдлыг хангах стратегийн ач холбогдол бүхий хөгжлийн тэргүүлэх салбарын нэг юм. Монгол улсын эрчим хүчний системийн эх үүсвэрүүдийн бүтэц одоогийн байдлаар дулаан, цахилгааныг хослон үйлдвэрлэх дулааны цахилгаан станц (ДЦС), нарны энерги ашиглаж эрчим хүч үйлдвэрлэх нарны цахилгаан станц (НЦС), салхины хурдыг ашиглан эрчим хүч үйлдвэрлэх салхин цахилгаан станц (СЦС), ОХУ-ын эрчим хүчний системээс 220 кВ-ын шугамаар авч байгаа импортын цахилгаанаас бүрдэж байна. Монгол улсын хэмжээнд орон нутаг газар зүйн бүсчлэлээр нь нийт 5 эрчим хүчний системд хуваадаг ба Төвийн бүсийн эрчим хүчний систем (ТБЭХС), Баруун бүсийн эрчим хүчний систем (ББЭХС), Алтай-Улиастайн эрчим хүчний систем (АУЭХС), Зүүн бүсийн эрчим хүчний систем (ЗБЭХС), Өмнөд бүсийн эрчим хүчний систем (ӨБЭХС) гэж хуваана. Монгол улсын ЭХНС-н суурилагдсан хүчин чадал 1544 МВт ба үүнээс ТБЭХС-ын суурилагдсан хүчин чадал нь 1446 МВт буюу дангаараа 90 орчим хувийг эзлээд байна. ТБЭХС-ийн суурилагдсан хүчин чадал 1446 МВт. Үүний 53% буюу 772 МВт-ыг ТЭЦ-4, 13.6% буюу 198 МВт-ыг ТЭЦ-3, 1.65% буюу 24 МВт-ыг ТЭЦ-2, 5.7% буюу 83 МВт-ыг ДДЦС, 4.9% буюу 71 МВт-ыг ЭДЦС, 3.6% буюу 53 МВт-ыг ЭҮДЦС, 10.7% буюу 155 МВт-ыг СЦС, 6.2% буюу 90 МВт-ыг НЦС тус тус эзлэж байна. ТБЭХС-ийн оргил ачаалал 2024.12.12-ны байдлаар 1655 МВт хүрч түүхэн дэх хамгийн өндөр ачаалал авсан. Үүний 315 МВт-г ОХУ-с импортоор авсан. Улаанбаатар хотын ачаалал 1012 МВт-т хүрч нийслэл хотын ачаалал анх удаа 1ТВт-д хүрээд байна. Импортоор авч байгаа чадал дээд цэгтээ хүрч, эрчим хүчний үйлдвэрлэлүүд бүрэн хүчин чадлаараа ажиллаж чадлын дутагдалд ороход УБЦС ТӨХК-ний зүгээс диспетчерийн шуурхай ажиллагааны дор нийт 93 МВт-ын хязгаарлалтыг хийсэн. Иймд манай улсын ЭХС-ын суурилагдсан хүчин чадал нь оргил ачаалалдаа хүрэхгүй, чадлын дутагдалд орж байгаа тул шинээр эрчим хүчний эх үүсгүүр барих зайлшгүй шаардлагатай тулгараад байна [3].

Иймд ТБЭХС-ийн цаашдын хэтийн төлөвлөлтийг бодит үр дүн дээр тулгуурлан тооцоо, судалгааг хийж жил бүрийн оргил ачааллыг мастер төлөвлөлт, бизнес төлөвлөлт буюу 2026 он цаашлаад ойрын 5 жил, 10 жил, алс хэтийн зэргээр төлөвлөн гаргаж авч болно.

II. АРГАЧЛАЛ

Ямар ч хэрэглэгчийн ачааллын график тэдгээрийн ажиллагааны шинж чанараас хамаарахгүй санамсаргүй хүчин зүйлүүдийн нөлөөллийг агуулсан, хугацааны туршид явагдаж буй санамсаргүй процесс байна. Иймд хоёр буюу хэд хэдэн санамсаргүй хэмжигдэхүүний хоорондын статистик хамаарлыг загварчлах хамгийн түгээмэл ерөнхий арга бол регрессийн шинжлэл юм.

Регрессийн шинжлэл нь харилцан үл хамаарах x1, x2 ..., xn гэсэн хэмжигдэхүүнээс хамаарсан гаралтын хэмжигдэхүүн Y-ын хамаарлын тэгшитгэлийг байгуулахад оршино. Регрессийн загвар байгуулахдаа Microsoft Excel-ын орчинд trend функц дэх бэлэн загвар (экспонциаль, шугаман, полиноминал)-уудаас тохиромжтой загваруудыг сонгож загварчилна. Тэдгээр загварууд нь тохиромжгүй бол комплекс загварыг гарган авдаг. Тус загвар сонгон авсан загваруудын нийлэмжээр бий болдог загвар юм. Тус загварыг гарган авахын тулд оновчтой сонгосон 2-3 н загвар хэрэгтэй ба stdev функцийн тусламжтай үнэмшлийн коэффициентыг гарган авна. Энэ коэффициент нь комплекс загварыг гарган авахад хэр зэрэг оролцож байгааг харуулдаг. Комплекс загвар буюу нийлмэл загвар нь бодит үр дүнтэй хамгийн дөхөм байх ба цаашид тус загвараар төлөвлөлтийг хийнэ. Прогнозын комплекс загвар ба түүний бүрдүүлэгч дэд загваруудын үнэлгээг өгөхдөө тус бүрийн стандарт хазайлтыг ашиглана. Загварын алдаа ±5% бол үнэмшилтэй гэж үзнэ [1].

Регрессийн загвар гэдэг нь эрчим хүчний макро (тогтвортой өсөж байгаа) хэрэглэгчдийн цахилган ачаалал ба хэрэглээг тодорхойлоход ашигладаг. Түлш эрчим хүчний макро түвшний хэрэглэгчид гэдэг нь цаг хугацааны хувьд өндөр инерцтэй хэрэглэгчид болно. Өөрөөр хэлбэл хэрэглээ нь харьцангуй хэвийн өсөлттэй байдаг. Энэ аргачлалын гол зарчим нь улс орны төвлөрсөн эрчим хүчний системийн цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээ ба их ачааллын өсөлт нь тухайн орны эдийн засгийн макро үзүүлэлттэй

харилцан уялдаатай байдагт оршиж байна. Тиймээс эрчим хүчний макро түвшний төлөвлөлтийг улс орны макро үзүүлэлтүүдтэй уялдуулан төлөвлөнө [2].

Эрчим хүчний макро төлөвлөлтийг хийхэд олон хэмжээст регрессийн загварыг ашигладаг. Энэ нь t аргументаас хамаарсан ямарваа нэг трендийн тэгшитгэлээс илүү нарийвчлалтай байдгаараа давуу талтай. Түлш, эрчим хүчний нөөцийн хэрэглээнд олон хүчин зүйлс нөлөөлж байдаг. Энэ тохиолдолд олон хэмжээст шугаман регрессийн тэгшитгэлээр хэтийн хэрэглээг шинжлэх нь илүү ач холбогдолтой байдаг. Түлш, эрчим хүчний макро түвшний олон хэмжээст регрессийн тэгшитгэлийг зохиохдоо Microsoft Excel-ийн мастер-функц дотроос (LINEST) гэсэн стандарт функцийг ашиглана. Ямар нэгэн регрессийн загварын параметрүүд болох коэффициентуудыг тодорхойлсны дараа тэгшитгэлийн статистик шинжилгээг явуулдаг. Статик шинжүүрээр шалгаж бодит үр дүнтэй хэр ойртсоныг шалгана.

Регрессийн загварын илэрхийлэх чадварыг Р.Фишерын шинжүүр болон корелляцийн коэффициентоор шалгадаг. Р.Фишерын шинжүүрийг F шинжүүр гэж нэрлэдэг. Энэ шалгуурын мөн чанар нь хоёр дисперсийн харьцааг олж түүнийг таблицын утгатай харьцуулах замаар шалгадаг. Хэрэв F>Fтабл байвал регрессийн загвар санамсаргүй хэмжигдэхүүнийг илэрхийлэх чадварыг үнэмшилтэй гэж үзнэ. Өөрөөр хэлбэл регрессийн загварын талаар анхны дэвшүүлсэн таамаглал зөв байна. Эсрэг тохиолдолд буруу байна. Р.Фишерын шинжүүрийн таблицын утга F >Fтабл-ыг лавлахаас чөлөөний зэргүүд (F_0 = N-1; F_1 = N - n - 1)-ээс хамааруулан тодорхойлно. Макро түвшний хэрэглэгчид нь улс орны эдийн засгийн макро үзүүлэлттэй корреляцийн нягт хамааралтай байдаг болно. Ийм төрлийн хэрэглээг тусгай аргачлалаар тодорхойлох бөгөөд ихэвчлэн магадлал-статистикийн аргаар шинжилгээ хийж тодорхойлдог. Корреляцын коэффициент 0.9%-иас их байвал корреляцын тодорхой хамаарал байна гэж үзнэ. Корреляцын коэффициентын утгыг тодорхойлохдоо EXCEL-ийн CORREL($X_{фун}$ $X_{арг}$) гэсэн стандарт функцийг ашиглаж болно.

Математик загварт ТБЭХС-ийн их ачаалал Рмах МВт, ТБЭХС-ийн цахилгааны нийт түгээсэн эрчим хүч Wтүг сая кВт.ц, ТБЭХС-ийн нийт үйлдвэрлэсэн эрчим хүч Wүйлд сая кВт.ц, манай улсын ДНБ тэрбум.төг, YHO тэрбум.төг гэсэн үзүүлэлтийг анхдагч өгөгдөл болгон ашиглана. Эдгээр анхдагч өгөгдлүүд нь t хугацаанаас хамаарсан чиг баримжааны тэгшитгэлээр илэрхийлэгдсэн регрессийн загвар болно.

III. ТООЦООНЫ ҮР ДҮН

Хүснэгт 1-д үзүүлсэн тооцооны анхны өгөгдөл нь математик статистик өгөгдөл буюу бодит үр дүн юм. Иймд бодит өгөгдөл дээр тулгуурлан тооцоог хийсэн болно. Тооцоог 1990 оноос эхлэн гүйцэтгэж болох байсан ч энэ үед монгол улсын эдийн засаг тогтворгүй, уналтанд байсан учир төлөвлөлтөд муугаар нөлөөлөх, хэт үсрэлттэй үр дүн гарах сөрөг үр дагавартай тул тооцоонд 2010-2023 оны өгөгдлийг анхдагч өгөгдөл болгон ашигласан [4].

Хүснэгт 1-д 2023 оны байдлаар ТБЭХС-ийн оргил ачаалал Рmax нь 1636 МВт, нийт үйлдвэрлэсэн эрчим хүч 8528,3 сая.кВт, нийт түгээсэн цахилгаан эрчим хүч 7489,6 сая.кВт болсон байна. Үүнтэй зэрэгцэн манай улсын макро эдийн засгийн үзүүлэлтүүд ДНБ 47387,9 тэрбум.төг, YHO 42048 тэрбум.төг-д хүрсэн байна [5].

ТООЦООНЫ АНХНЫ ӨГӨГДӨЛ

1-Р ХҮСНЭГТ

№	он	Макро эдийн		ТБЭХС-ийн хэрэглээ		
		ДНБ	ҮНБ	Их ачаалал МВт	Үйлдвэрлэсэн ЦЭХ	Түгээсэн ЦЭХ
1	2010	8414.5	7564.42	729	4284.6	3523.66
2	2011	8911.64	8894.41	782	4514.96	3660.64
3	2012	9749.63	9749.63	863	4680.01	3784.66
4	2013	10286.3	10084.8	910	4812.23	3913.14
5	2014	12783.6	11536.5	969	4950.87	4041.223
6	2015	13831.6	12712	965	5377.9	4425.5
7	2016	15297.3	13939.2	975	5494	4754.5
8	2017	16835.8	15218.2	1016	6089.1	5020.5
9	2018	18669.7	16624.4	1117	6624.8	5699.3
10	2019	21436.5	18089.0	1153	7003.3	6040.3
11	2020	22457.2	19664.0	1303	7145.7	6173.9
12	2021	29925.7	25656.1	1424	7913.6	6853.2
13	2022	35908.8	30663.0	1469	8178.6	7139.9
14	2023	47387.9	42048.0	1636	8528.3	7489.6

Microsoft excel-ийн орчинд экспонциаль, шугаман, полиноминал загваруудыг ашиглан загварын тэгшитгэлүүдийг гарган авч комплекс загварыг гарган авсан.

STDEV ФУНКЦ БОЛОН ТУС ЗАГВАРЫН ОРОЛЦООНЫ КОЭФФИЦИЕНТ

2-Р ХҮСНЭГТ

Регрессийн загвар	Экспонциаль	Шугаман	Полиноминал
stdev	696.02	480.17	851.84
Үнэлгээний коэф	0.31	0.44	0.25

Регрессийн коэффициент:

$$Кр = (\ 748.9174, \quad 0.1014, \quad -0.0942\ )$$

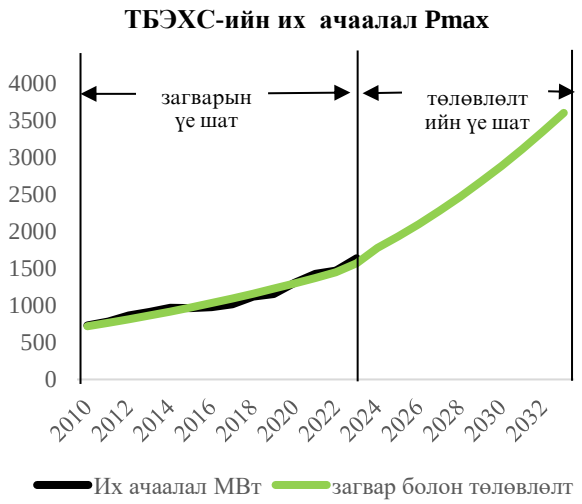
Математик загварын тэгшитгэл:

$$P_{max} = 0.44 \cdot (62.78 \cdot t + 622.79) + 0.31 \cdot (695.23 \cdot e^{0.0567} \cdot t) + 0.25 \cdot (3.8036 \cdot t^2 + 5.7266 \cdot t + 744.93)$$

Корреляцын коэффициент:

$$R = 0.9802$$

Комплекс загварын регрессийн коэффициент болон регрессийн тэгшитгэлийг гарган авч тус загвараа кореллецийн коэффициентоор шалгахад R = 0.9802 гарсан энэ нь хангалттай үнэмшилтэй ба тус загварын алдаа нь $З_{алдаа}$ = 4.03% байна. Эрчим хүчний тооцоо судалгаанд алдааг ±5% байхыг зөвшөөрдөг учир тооцоог цааш үргэлжлүүлэе. Комплекс загварыг зураг 1-д харуулав.



1-р зураг. ТБЭХС-ийн их ачааллын бодит байдал, загварчилсан байдал, төлөвлөлтийн байдал

Төлөвлөлтийг хийх загвараа сонгон авсан учир макро төлөвлөлтийг хийхдээ ТБЭХС-ийн оргил ачааллыг Pmax макро эдийн засгийн үзүүлэлтүүдээс хамааруулан олон хэмжээст регрессийн тэгшитгэлийг гарган авна.

Их ачааллын олон хэмжээст регрессийн коэффициент:

$$\text{Кр} = (\ 686.47, \quad 0.638, \quad -0.048)$$

Үйлдвэрлэсэн эрчим хүчний олон хэмжээст регрессийн коэффициент:

$$\text{Кр} = (\ 4306.825, \quad 0.6239, \quad -0.5954)$$

Түгээсэн эрчим хүчний олон хэмжээст регрессийн коэффициент:

$$\text{Кр} = (\ 3474.059, \quad 0.6033, \quad -0.5781)$$

Олон хэмжээст регрессийн тэгшитгэлийг ашиглан *t* хугацаанаас хамаарсан төлөвлөлтийн тэгшитгэлийг гарган авна.

Төлөвлөлтийн тэгшитгэл:

- $P_{max}(t) = 686.47 + 0.638 \cdot \text{ДНБ} - 0.048 \cdot \text{ҮНБ}$
- $W_{\text{үйлд}}(t) = 4306.825 + 0.6239 \cdot \text{ДНБ} - 0.5954 \cdot \text{ҮНБ}$
- $W_{\text{түг}}(t) = 3474.059 + 0.6033 \cdot \text{ДНБ} - 0.5781 \cdot \text{ҮНБ}$

Гарган авсан төлөвлөлтийн тэгшитгэлээр ТБЭХС-ийн их ачаалал Pmax, үйлдвэрлэсэн эрчим хүч Wүйлд, түгээсэн эрчим хүч Wтүг зэргийг 10 жилийн хугацаанд төлөвлөв. Төлөвлөлтийн үр дүнг хүснэгт 3-д үзүүлэв.

Тус төлөвлөлт хэр үнэмшилтэй байна гэдгийг корреляцийн коэффициентоор болон фишерийн шинжүүрээр шалгав. Тооцоог шалгасан үр дүнг хүснэгт 4-д үзүүлэв.

ТБЭХС-ИЙН ИХ АЧААЛАЛ P_{MAX}, ҮЙЛДВЭРЛЭСЭН ЭРЧИМ ХҮЧ $W_{ҮЙЛД}$, ТҮГЭЭСЭН ЭРЧИМ ХҮЧ WТҮГ 10 ЖИЛИЙН ХУГАЦААНД ТӨЛӨВЛӨСӨН ТООЦООНЫ ҮР ДҮН

3-Р ХҮСНЭГТ

№	он	ТБЭХС-ийн хэрэглээ		
		Их ачаалал МВт	Үйлдвэрлэсэн ЦЭХ	Түгээсэн ЦЭХ
1	2024	1775.2	9612.0	8504.1
2	2025	1929.9	10383.6	9236.4
3	2026	2096.6	11212.5	10022.9
4	2027	2275.2	12098.6	10863.5
5	2028	2465.9	13041.8	11758.4
6	2029	2668.5	14042.3	12707.4
7	2030	2883.1	15099.9	13710.7
8	2031	3109.7	16214.7	14768.1
9	2032	3348.2	17386.8	15879.7
10	2033	3598.8	18616.0	17045.5

ТООЦООНЫ УТГЫГ КОРЕЛЛЯЦИЙН КОЭФФИЦИЕНТ БА ФИШЕРИЙН ШИНЖҮҮРЭЭР ШАЛГАВ

4-Р ХҮСНЭГТ

№	Олон хэмжээст регрессийн загварууд	Фишерийн шинжүүр		Корреляцын коэффициент, R
		$F_{тооц}$	$F_{хүснэгт}$ $\alpha = 0.05$ $v1, v2$	
1	Pmax=686.47+0.638*ДНБ-0.048*ҮНБ	99.729	4.46	0.98
2	Wүйлд=4306.825+0.6239*ДНБ-0.5954*ҮНБ	79.221	4.46	0.98
3	Wтүг=3474.059+0.6033*ДНБ-0.5781*ҮНБ	85.61	4.46	0.99

ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгааны ажлаар ТБЭХС-ийн их ачааллыг 2023-2033 он хүртэл 10 жилийн хугацаанд төлөвлөж тооцоог хийж дараах дүгнэлтэнд хүрэв. Үүнд:

- Комплекс загвараа бодит үр дүнгээс хэр зэрэг зөрүүтэйг шалгахад алдаа нь $P_{алдаа}$=4.03%-тай гарсан ба эрчим хүчний системийн ажиллах нөхцөл техникийн нөөц ±5% дотор байдаг тул тооцооны үр дүнг хэтийн хөгжилттэй холбогдолтой шинжилгээний ажилд ашиглаж болно гэж үзэж байна.

- ТБЭХС-ийн их ачаалал ба хэрэглээг улсын макро эдийн засгийн үзүүлэлтүүдээс хамааруулан төлөвлөв. Үүнд: Макро эдийн засгийн үзүүлэлтүүд нь ТБЭХС-ийн үзүүлэлтүүдтэй нягт уялдаа холбоотой байгааг, түүнчлэн олон хэмжээст регрессийн загварын тооцоог хийж үнэмшилтэй эсэхийг фишерийн шинжүүрээр $F_{тооц}=99.72>F_{таб}=4.46$ болон олон хэмжээст корреяцын шинжүүрээр шалгахад *R=0.98* хангалттай үнэмшилтэй гэдгийг баталсан.

- ТБЭХС-ийн суурилагдсан хүчин чадал одоогийн байдлаар 1544 МВт байгаа ба тооцооны үр дүнгээр 2033 онд 3500-3600 МВт их ачаалал авна гэсэн тооцоо гарсан. Одоогийн байдлаар ТБЭХС өвлийн их ачааллыг давахын тулд чадлын дутагдалд орж хязгаарлалт хийж байна. ТБЭХС-ийн суурь болсон ДЦС-ууд нь ашиглалтын хугацаа дуусч байгаа бөгөөд дахин нэмэн өргөтгөл хийх нь хүндрэлтэй асуудал юм. Тиймээс энэхүү их ачааллыг хангахын тулд ойрын хугацаанд шинээр эх үүсвэр нэн яаралтай барих зайлшгүй шаардлагатай байна. ТЭЦ-5 450 МВт, Эгийн голын усан цахилгаан станц 315 МВт, Шүрэнгийн УЦС 300 МВт, Багануурын ЦС 700 МВт, Дорнодын ДЦС 100 МВт, Тавантолгой ДЦС 450 МВт, Шивээ овоо ЦС 270 МВт болон бусад нүүрсний

ордуудыг түшиглэсэн цахилгаан станцуудыг барьж байгуулах шаардлагатай.

- Эрчим хүчний математик статистикийн аргаар төлөвлөлтийн тооцоог хийж үнэлэлт дүгнэлт хийх нь эрчим хүчний чадлын дутагдалд орохоос сэргийлэх, эрчим хүчний салбарын хэтийн төлөвийг судлах, эрсдэлийг урьдчилж харах, хоногийн ачааллын графиктай уялдуулан боломжит чадлыг тодорхойлж чадлын урсгалыг зохицуулах, горим системийн аваар ослоос урьдчилан сэргийлэх, эх үүсгүүр тоног төхөөрөмж болон хэрэглэгчдийн найдвартай ажиллагааг хангах дэвшилтэд алхам болно. Цаашид төлөвлөлт тооцоог хөгжүүлж шинэ шатанд гаргах нь салбарын хөгжлийг түргэсгэх гол алхам болох ба эдийн засгийн хэмнэлт үр ашгийг дагуулна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] Содномдорж Д. Цахилгаан эрчим хүчний системийн горимын цогцолбор судлал ба математик загварчлал. ШУТИС, Шилмэл бүтээл 2012, -827 х.

[2] Содномдорж Д. Инженерийн судалгааны математик аргууд. ШУТИС, Нэг сэдэвт бүтээл 2009, -267 х.

[3] Авдай Ч. Судалгаа шинжилгээний ажил гүйцэтгэх арга зүй. ШУТИС 2015, -279 х.

[4] Эрчим хүчний статистикийн үзүүлэлтүүд. Эрчим хүчний зохицуулах хороо, 2023

[5] Үндэсний статистикийн мэдээллийн нэгдсэн сан, анхдагч өгөгдлийг цуглуулсан

[6] Sh.Gantumur “The Newton's second order methods for calculating steady states of power electric systems”6 DOI: 10.1109/IFOST.2013.6616936, 2013 - 01 July, Publisher: IEEE, Conference Location: Ulaanbaatar, Mongolia

35 кВ-ЫН ЦАХИЛГААН ДАМЖУУЛАХ ШУГАМЫН ДАМЖУУЛАГЧИЙН ХӨНДЛӨН ОГТЛОЛЫН ОНОВЧЛОЛЫН СУДАЛГАА

Өлзийтогтохын ЭНХТҮВШИН, Пүрэвсүрэнгийн ЗАГДРАГЧАА, Энхтөрийн АМГАЛАНБАТ, Онхын ЦОГБАЯР
Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Цахилгааны инженерийн салбар
Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: otsogoo@must.edu.mn

Хураангуй: **Цахилгаан шугам сүлжээний ажлын зураг боловсруулах явцад тулгарах асуудлуудын нэг нь цахилгаан эрчим хүчний шугам сүлжээний бүтэц, цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын үндсэн параметрүүдийг оновчтой тодорхойлох шийдэл болдог. Цахилгаан эрчим хүчний системийг барих болон ашиглалтын үеийн эдийн засгийн үр ашиг цахилгаан шугам сүлжээний зүй зохистой оновчтой бүтцээс ихээхэн хамаардаг. Тус асуудлуудын техник-эдийн засгийн судалгаанд судалж буй объектын технологийн зүй тогтол ба шинж чанаруудыг тусгасан математик загварыг байгуулах шаардлагатай болдог. Тус өгүүллээр Монгол улсад түгээмэл ашиглаж буй 35 кВ-ын цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын дамжуулагчийн огтлолыг сонгох математик загвар болон нийтлэг номограмм байгуулсан болно.**

Түлхүүр үг: 35 кВ-ын цахилгаан дамжуулах агаарын шугам, математик загвар, параметр, хөндлөн огтлол, суурь өртөг.

I. Оршил

Цахилгаан шугам сүлжээний ажлын зураг боловсруулах явцад үүсэж буй гол асуудлуудын нэг нь цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын үндсэн параметрүүд ба тэдгээрийг барьж байгуулах дараалыг цахилгаан системийн оновчтой хөгжлийн нөхцөлөөс үндэслэн тогтоох нь чухал байдаг. Цахилгаан шугам сүлжээний ашиглалтын болон барьж байгуулах эдийн засгийн үр ашиг бүхэлдээ цахилгаан шугам сүлжээний зүй зохистой оновчтой байгуулснаас ихээхэн хамаарч байдаг. Цахилгаан шугам сүлжээний тоноглолуудад түүгээр дамжуулсан цахилгаан энергийн 20 хүртэлх хувь алдагддаг. Тус алдагдлын дийлэнх нь цахилгаан дамжуулах агаарын шугам, хүчний трансформаторын бодит эсэргүүцэлтэй холбоотойгоор үүсдэг [1]. Цахилгаан шугам сүлжээний трансформатор болон цахилгаан дамжуулах шугамын дамжуулагчийн бодит эсэргүүцлийн халалтад нийт алдагдлын 40 орчим хувь алдагддаг. Иймд цахилгаан шугам сүлжээний алдагдлын халалтад үүсэж буй алдагдлыг бууруулах хамгийн ашигтай арга зам бол цахилгаан дамжуулах шугамын бодит эсэргүүцлийг багасгах асуудал юм. Дамжуулагчийн бодит эсэргүүцлийг багасгах арга зам нь түүний хөндлөн огтлолыг ихэсгэх юм. Эсрэгээрээ дамжуулагчийн хөндлөн огтлол ихсэхэд цахилгаан дамжуулах шугамын өртөг ихэсдэг. Иймд дамжуулагчийн хөндлөн огтлолын сонголтын үед дээрх хоёр нь сөргөлдөгч параметрүүд болдог.

1950-иад оны үед боловсруулагдсан гүйдлийн эдийн засгийн нягтын утгууд шугамын дамжуулагчийн хөндлөн огтлолыг сонгох асуудалд дэвшилтэд алхам болсон байдаг учир нь урьд өмнө боловсруулан ашиглаж байсан аргачлалууд нь зөвхөн цахилгаан дамжуулах шугамын өртгийг тооцдог байсан бол гүйдлийн эдийн засгийн нягтын арга нь цахилгаан эрчмийн алдагдлын зардлыг тооцдог болсон [2]. Гэвч энэ арга агаарын шугамын дамжуулагчийн хөндлөн огтлолоос шугаман хамааралтай байх хялбарчилгаа хийдэг [3]. Гэтэл бодит нөхцөл байдалд дамжуулагчийн хөндлөн огтлолоос хамаарах цахилгаан дамжуулах шугамын өртөг тасралттай функц байдаг учир алдаатай шийдэлд хүргэдэг байна.

Манай улсын эрчим хүчний дутагдалд орч буй үед эрчим хүчний хэмнэлт томоохон асуудал болсон ба гүйдлийн эдийн засгийн нягтын аргыг хэрэглэхэд эрчим хүчний болон материалын зардлын бүх хэлбэрүүдийг хэмнэх шаардлагатай зөрчилдөж байна. Эдгээр шаардлагуудыг авч үзсэн илүү нийтлэг арга бол эдийн засгийн завсрын арга юм. Иймд эдийн засгийн завсрын аргачлалаар Монгол улсын эдийн засгийн нөхцөлд тохирсон 35 кВ-ын цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын зардлын математик загвар болон дамжуулагчийн хөндлөн огтлолыг сонгох нийтлэг номограмм байгуулахад тус өгүүллийн зорилго оршино.

II. Цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын хөндлөн огтлолыг сонгох аргачлал

Цахилгаан шугам сүлжээний ажлын зураг боловсруулах явцад үүсэж буй асуудлуудын нэг нь цахилгаан системийн оновчтой хөгжлийн нөхцөлөөс үүдэн цахилгаан шугам сүлжээний бүтэц, цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын параметрүүдийг тодорхойлох үндэслэлтэй шийдэл байдаг. Цахилгаан эрчим хүчний системийг барьж байгуулах болон ашиглалтын эдийн засгийн үр ашиг нь цахилгаан шугам сүлжээний оновчтой бүтцээс ихээхэн хамаардаг. Эдгээр асуудлын техник-эдийн засгийн судалгаанд судалж буй объектын зүй тогтол ба үндсэн шинж чанаруудыг агуулсан математик загварыг байгуулах зайлшгүй шаардлагатай байдаг.

Байгуулсан математик загварт тоон шинжилгээний аргуудыг хэрэглэх замаар объектын параметрүүдийн хоорондын хамаарлыг гаргаж авдаг. Ийм байдлаар бодитой оршин буй объектуудын судалгааны арга болох техник-эдийн засгийн судалгаанд түүний хоёр тал болох тоон ба чанарын нягт холбоо бий болдог. Энэ талууд эцсийн үр дүндээ судлагдаж буй объектын шинж чанарыг бүрэн тусгах ижил зорилготой байдаг. Эдгээр талууд тус бүрдээ өөрсдийн онцлог шинж чанарыг агуулж байдаг.

Чанарын шинжлэл нь танин мэдэхүйн эхний үе шат байдаг. Энэ нь судалж буй объектын физик болон эдийн засгийн төсөөллийг бүрдүүлэх процесст ихээхэн чухал үүрэг гүйцэтгэгддэг ба тухайн объектын математик загварыг боловсруулах үйл явцтай холбоотой байдаг. Тус судалгааны ажилд байгуулж буй математик загварууд нь физик параметрүүдээр илэрхийлэгдэхээс гадна хэд хэдэн өртгийн үзүүлэлтүүдээр илэрхийлэгдэж байгаа учраас техник-эдийн засгийн загварууд юм.

Нэг км урттай цахилгаан дамжуулах агаарын шугамыг барих ба ашиглалтын үеийн зардлыг дамжуулагчаар дамжих их ачааллын гүйдлээс хамаарах хамаарлыг [4] бүтээлд авч үзсэн дараах тэгшитгэлийг ашиглая:

$$З_{ш0i} = d_{экв} k_{деф} K_{0i} + ц_э d_{T.a} 3\pi r_{0i} \cdot 10^{-3} \cdot I_{их}^2 \quad (1)$$

Үүнд: $d_{экв}$ -дискаунтчлалын эквивалент үржигдэхүүн; $k_{деф}$ -дефляцын коэффициент; K_{0i} -нэг км цахилгаан дамжуулах агаарын шугамыг барих зардлын суурь үзүүлэлт, мян.төг/км; $ц_э$ -цахилгаан эрчим хүчний үнэ, төг/кВт.цаг; r_{0i} -дамжуулагчийн хувийн эсэргүүцэл, Ом·мм^2/км; $d_{T.a}$ -дискаунтчлалын үржигдэхүүн; τ -их алдагдлыг ашиглах хугацаа, цаг; $I_{их}$ -хамгийн их ачааллын гүйдэл, А.

(1) илэрхийлэлд шугамын дамжуулагчийн хөндлөн огтлолоос хамаарахгүй $A = d_{экв} k_{деф}$ ба $B = 3ц_э d_{T.a} \tau 10^{-3}$ коэффициентуудыг тодорхойлох шаардлагатай ба эдгээр коэффициентууд нь дискаунтчлалын эквивалент үржигдэхүүнээс хамаарна.

Дискаунтчлалын эквивалент үржигдэхүүнийг дараах томьёогоор тодорхойлно.

$$d_{экв} = (1+E)^{-1} + \alpha_{з.үйл_i} d_{T.a} - (1 - \alpha_{с.з_i} T_a)(1+E)^{-T_T} \quad (2)$$

Үүнд: E -дискаунтын норм; $\alpha_{с.з_i}$ -сэргээн засварлах зардлын шимтгэл; $\alpha_{з.үйл_i}$ -засвар үйлчилгээний шимтгэл; T_a -цахилгаан дамжуулах шугамын ашиглалтын хугацаа, жил; T_T -тооцооны хугацаа, жил.

Дискаунтчлалын эквивалент үржигдэхүүнийг хүчдэлийн түвшнээс хамааруулан тодорхойлно. Харин B коэффициентын утга нь цахилгаан эрчим хүчний үнэ болон үнийн ангиллаас хамаарна. Гэхдээ цахилгаан шугам сүлжээг нэг төрлийн хэрэглэгчдийг дангаар тэжээх зорилгоор бус үйлдвэр, айл ахуй гэх мэт нийт хэрэглэгчдийг тэжээх зориулалттай байхаар барьдаг. Иймд нийт цахилгаан эрчим хүчний хэрэглэгчдийн хувьд цахилгаан эрчим хүчний дундаж үнээр тооцох нь зайлшгүй юм [5].

Нэг км агаарын шугамыг барьж байгуулах зардлын их $I_{их}$ ачааллаас хамаарах илэрхийллийг хүчдэлийн түвшин бүрд дамжуулагчийн хөндлөн огтлолын утга тус бүрээр тооцож гаргана.

$$З_{ш0_i} = A_i + B_i I_{их}^2, \quad (3)$$

Мөн шугамын дамжуулагчийн стандарт хөндлөн огтлолын дээд ба доод хоёр дамжуулагчийн хөндлөн огтлолын огтлолцлын цэгт харгалзах гүйдлийн хязгаарын утгуудыг хөндлөн огтлол тус бүрийн хувийн зардлыг тэнцүүлэх зарчмаар гүйдлийн хязгаарын утгуудыг олно. Өндөр хүчдэлийн цахилгаан дамжуулах шугамын зураг төсөл боловсруулах болон ашиглалтын практикт гүйдлийн эдийн засгийн завсрын дээд хязгаарын хүснэгтийг ашигладаг ба энэ хүснэгтийн утгад номиналь хүчдэл, шугамын хийц, тулгуурын хийц, мөсжилтийн муж гэсэн нөлөөлөх хүчин зүйлүүдийг тооцдог. Тус хүчин зүйлүүдийн дотор чухал хүчин зүйл болох их ачааллын ашиглалтын хугацаа болон үүнээс хамаарах их алдагдлыг ашиглах хугацаа ордоггүй. Учир нь энэ хүчин зүйлийг тооцоход тооцоо ихэсдэг. Иймд их мэдээллээс зайлсхийхийн тулд $\sqrt{\sigma}$ аргументтэй шугамын функцийн хэлбэр дэх хязгаарын гүйдлийн төсөөлөл дээр тулгуурласан нийтлэг номограммыг байгуулна. Зэргэлдээ стандарт огтлолын хувьд хязгаарын гүйдлийн утгыг тодорхойлох илэрхийллийг гарган авах зорилгоор авч үзсэн (1) томьёог (4) хэлбэрт илэрхийлж болно:

$$I_{i,i+1} = \sqrt{\frac{d_{экв} k_{деф} (K_{ш0_{i+1}} - K_{ш0_i})}{3ц_э d_{T.a} \tau 10^{-3} (r_{0_i} - r_{0_{i+1}})}} = \sqrt{\sigma} \cdot k_{i,i+1}, \quad (4)$$

Үүнд:

$$\sqrt{\sigma} = \sqrt{\frac{d_{экв} k_{деф}}{3ц_э d_{T.a} \tau 10^{-3}}} = \sqrt{\frac{A}{B}}; \quad (5)$$

$$k_{i,i+1} = \sqrt{\frac{(K_{ш0_{i+1}} - K_{ш0_i})}{r_{0_i} - r_{0_{i+1}}}} = \sqrt{\frac{\Delta K_{ш0_{i,i+1}}}{\Delta r_{0_{i,i+1}}}} \quad (6)$$

Үүнд: $k_{i,i+1}$ -хязгаарын шулууны налууг илэрхийлэх коэффициент.

Цахилгаан эрчим хүчний үнээс хамаарах базмал параметрийн утгуудыг тухайн цаг хугацаанд мөрдөж буй цахилгаан эрчим хүчний тарифаар (6) томьёог ашиглаж тодорхойлно. Зэргэлдээ хоёр огтлолцлын гүйдлийн эдийн засгийн хязгаарын утгыг (4) томьёогоор олж дамжуулагчийн хөндлөн огтлолыг сонгох нийтлэг номограммыг байгуулна.

III. 35 кВ-ын ЦАХИЛГААН ДАМЖУУЛАХ АГААРЫН ШУГАМЫН ОНОВЧТОЙ ХӨНДЛӨН ОГТЛОЛЫН СУДАЛГАА

35 кВ-ын төмөрбетон засварын тулгууртай цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын хөрөнгө оруулалтын зардлын шимтгэлийг [6] бүтээлийн дагуу тодорхойлж 1-р хүснэгтэд үзүүлэв.

35 кВ-ын ЦАХИЛГААН ДАМЖУУЛАХ АГААРЫН ШУГАМЫН ХӨРӨНГӨ ОРУУЛАЛТЫН ЗАРДЛЫН ШИМТГЭЛ

1-Р ХҮСНЭГТ

Тулгуурын төрөл	Хөрөнгө оруулалтын зардлын шимтгэл	
	$\alpha_{з.үйл}$	$\alpha_{с.з}$
Төмөр бетон тулгуур	0.04	0.02

35 кВ-ын цахилгаан шугам сүлжээний сонгон авсан цахилгаан шугам сүлжээний хувьд их алдагдлын хугацаа $\tau = 2583$ цаг гарсан ба дискаунтчлалын эквивалент үржигдэхүүн (2) томьёоны дагуу $d_{экв}=0.8$ гэж гарсан. Шугамын хөндлөн огтлолоос хамаарах A коэффициент A=166.9 болно. Харин B коэффициентын утга B=5.45 сая.төг/ВА.км тус тус гарсан болно. Эндээс 35 кВ-ын Монгол улсад түгээмэл хэрэглэж буй дамжуулагчийн хөндлөн огтлол тус бүрээр A_i ба B_i коэффициентын утгуудыг тодорхойлж 2-р хүснэгтэд харуулав.

35 кВ-ЫН ЦАХИЛГААН ДАМЖУУЛАХ АГААРЫН ШУГАМЫН ЗАРДЛЫН ХУВЬСАХ КОЭФФИЦИЕНТҮҮД

2-Р ХҮСНЭГТ

Дамжуулаг-чийн марк, F_i	$K_{ш0i}$, сая.төг/км	A_i, сая.төг/км	r_{0i}, Ом/км	B_i, сая.төг/км·А^2
АС-25	52.5	8755.3	1.3	6.9
АС-35	53.4	8903.4	0.9	4.9
АС-50	54.2	9049.3	0.6	3.4
АС-70	55.7	9300.7	0.45	2.5
АС-95	57.8	9639.2	0.33	1.8

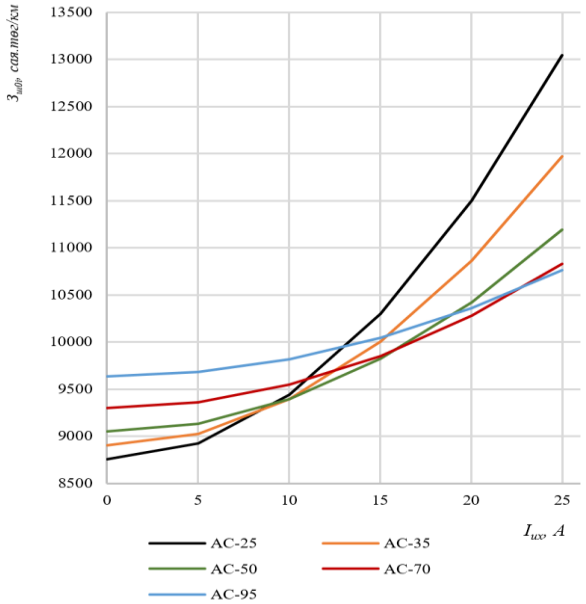
35 кВ-ын цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын гүйдлээс хамаарах зардлын математик загваруудыг дамжуулагчийн хөндлөн огтлол тус бүрд байгуулж 3-р хүснэгтэд харуулав.

35 кВ-ЫН ЦАХИЛГААН ДАМЖУУЛАХ АГААРЫН ШУГАМЫН ЗАРДЛЫН МАТЕМАТИК ЗАГВАРУУД

3-Р ХҮСНЭГТ

Шугамын марк	Зардлын математик загвар, $З_{ш0i} = f(I_{их})$
АС-25	$З_{25} = 875535 + 6.87 I_{их}^2$
АС-35	$З_{35} = 890342 + 4.9 I_{их}^2$
АС-50	$З_{50} = 904931 + 3.43 I_{их}^2$
АС-70	$З_{70} = 930075 + 2.45 I_{их}^2$
АС-95	$З_{95} = 963911 + 1.8 I_{их}^2$

3-р хүснэгтэд 35 кВ-ын цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын зардлын математик загварын муруйг шугамын дамжуулагчийн хөндлөн огтлол тус бүрд байгуулж зураг 1 дээр харуулав.



1-р зураг. 35 кВ-ын цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын зардлын математик загварын муруй

Зураг 1–д үзүүлсэн зардлын математик загваруудыг огтлолцлын гүйдлийн хязгаарын утгуудыг тодорхойлж үр дүнг 4-р хүснэгтэд харуулав.

35 кВ-ЫН ЦАХИЛГААН ДАМЖУУЛАХ АГААРЫН ШУГАМЫН ГҮЙДЛИЙН ЭДИЙН ЗАСГИЙН ХЯЗГААРЫН УТГУУД

4-Р ХҮСНЭГТ

Дамжуулагчийн огтлолцол	Огтлолцолд харгалзах гүйдлийн хязгаарын утга, А
АС-25/АС-35	8.7
АС-25/АС-50	9.2
АС-25/АС-70	11.1
АС-25/АС-95	13.2
АС-35/АС-50	9.9
АС-35/АС-70	12.7
АС-35/АС-95	15.4
АС-50/АС-70	16
АС-50/АС-95	19
АС-70/АС-95	22.8

IV. 35 кВ-ЫН ЦАХИЛГААН ДАМЖУУЛАХ АГААРЫН ШУГАМЫН ХӨНДЛӨН ОГТЛОЛ СОНГОХ НИЙТЛЭГ НОМОГРАММ

35 кВ-ын цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын хувьд тодорхойлсон A ба B коэффициентүүдийн утгаар $\sqrt{\sigma}$ параметрийг тодорхойлж үр дүнг 5-р хүснэгтэд үзүүлэв.

35 кВ-ЫН ЦАХИЛГААН ДАМЖУУЛАХ АГААРЫН ШУГАМЫН ПАРАМЕТРҮҮДИЙН УТГУУД

5-Р ХҮСНЭГТ

Шугамын хүчдэл, кВ	τ, цаг	$d_{экв}$	A	B	$\sqrt{\sigma}$
35	2583	0.8	166.9	5.45	5.53

35 кВ-ын цахилгаан дамжуулах агаарын

шугамын дамжуулагч утасны хоёр огтлолын гүйдлийн хязгаарын утгуудыг 4-р хүснэгтэд тодорхойлсон ба зэргэлдээ хоёр утасны гүйдлийн хязгаарын утгуудыг ялган авч үр дүнг 6-р хүснэгтэд харуулав.

35 кВ-ын ЦАХИЛГААН ДАМЖУУЛАХ АГААРЫН ШУГАМЫН ДАМЖУУЛАГЧИЙН ЗЭРГЭЛДЭЭ ХОЁР ХӨНДЛӨН ОГТЛОЛЫН ГҮЙДЛИЙН ХЯЗГААРЫН УТГУУД

6-Р ХҮСНЭГТ

Шугамын огтлолын огтлолцол	Гүйдлийн хязгаарын утгууд, А
АС-25/АС-35	8.7
АС-35/АС-50	9.9
АС-50/АС-70	16
АС-70/АС-95	22.8

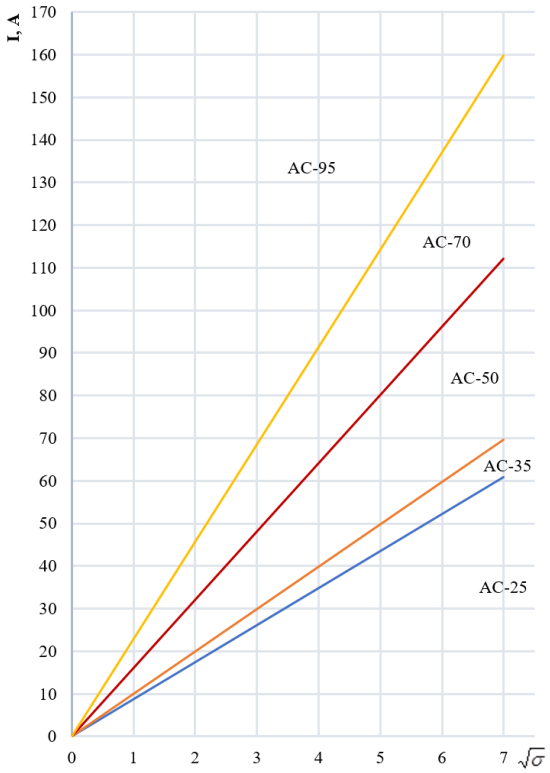
35 кВ-ын цахилгаан шугам сүлжээний гүйдлийн хязгаарын утгуудыг базмал параметрээс хамааруулан тодорхойлж 7-р хүснэгтэд үзүүлэв.

35 кВ-ын ЦАХИЛГААН ДАМЖУУЛАХ АГААРЫН ШУГАМЫН ДАМЖУУЛАГЧИЙН ЗЭРГЭЛДЭЭ ОГТЛОЛУУДЫН БАЗМАЛ ПАРАМЕТРЭЭС ХАМААРСАН ГҮЙДЛИЙН ХЯЗГААРЫН УТГУУД

7-Р ХҮСНЭГТ

Базмал параметр	Базмал параметраас хамаарсан гүйдлийн хязгаарын утгууд, А			
	АС-25/АС-35	АС-35/АС-50	АС-50/АС-70	АС-70/АС-95
0.5	4.3	5.0	8	11.4
1.0	8.7	10.0	16	22.8
2.0	17.4	19.9	32	45.7
3.0	26.1	29.9	48	68.5
4.0	34.8	39.8	64	91.4
5.0	43.4	49.8	80.1	114.2
6.0	52.1	59.7	96.1	137.1
7.0	60.8	69.7	112.1	159.9

7-р хүснэгтэд харуулсан 35 кВ-ын цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын зэргэлдээ хөндлөн огтлолуудын гүйдлийн хязгаарын утгуудаар базмал параметрээс хамааруулан шугамын дамжуулагчийн хөндлөн огтлолыг сонгох нийтлэг номограммыг байгуулж зураг 2 дээр харуулав.



2-р зураг. 35 кВ-ын цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын дамжуулагчийн хөндлөн огтлол сонгох нийтлэг номограмм

ДҮГНЭЛТ

35 кВ-ын цахилгаан дамжуулах агаарын шугамаар дамжих гүйдлээс хамаарах зардлын математик загваруудыг шугамын хөндлөн огтлол бүрд байгуулав. Боловсруулсан математик загваруудын графикийг байгуулж шугамын хөндлөн огтлолын гүйдлийн эдийн засгийн завсрыг тодорхойлж шугамын дамжуулагч утасны хөндлөн огтлолуудын огтлолцлын цэгүүдээр гүйдлийн хязгаарын утгуудыг тодорхойлсон болно.

35 кВ-ын хүчдэлтэй цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын дамжуулагч утасны хөндлөн огтлолыг сонгох хялбар аргачлалаар утасны огтлолыг сонгох базмал параметрийг тодорхойлж энэ параметрээс хамаарсан дамжуулагчийн хөндлөн огтлол сонгох нийтлэг номограммыг байгуулав. Тус байгуулсан номограмм нь 35 кВ-ын цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын зураг төсөл зохиох үед болон шугам сүлжээний төлөвлөлтийн үед ашиглах боломжтой ба зураг төслийн тооцоог ихээхэн хөнгөвчилж өгөх юм.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] Д.Содномдорж. Цахилгаан системийн эрчмийн алдагдлыг тодорхойлох арга, загварууд ба түүнийг багасгах арга замууд. Гарын авлага. Улаанбаатар, 1999: -118х.

[2] Глазунов А.А. Электрические сети и системы. -М.: Госэнергоиздат, 1954. -574с.

[3] Инструкция по определению экономической эффективности капитальных вложений в развитие энергетического хозяйства. М.: Энергия, 1973.

[4] Злобин С.В. Выбор сечений проводов воздушных линий электропередачи 110 кВ современных условиях развития электроэнергетики. 3ая международная научнотехническая конференция. Энергосистема: управление, конкуренция, образование. Сборник докладов. Том 2. 14-16 октября 2008, г. Екатеринбург.

[5] Идельчик В.И. Электрические системы и сети: Учебник для вузов. –М.: Энергоатомиздат, 1989. -592с.:ил.

[6] Справочник по проектированию электроэнергетических систем /Под ред. С.С.Рокотяна, И.М.Шапиро. 3-е изд. -М.: Энергоатомиздат, 1985

ЦАХИЛГААН ШУГАМ СҮЛЖЭЭНИЙ ЦАХИЛГААН ЭНЕРГИЙН ДАМЖУУЛАЛТЫН ОНОВЧЛОЛЫН СУДАЛГАА

Валягийн БАТБАЯР, Нямдаваагийн ЭРДЭНЭБАРХАС, Баяраагийн АРИУНБОЛД, Онхын ЦОГБАЯР
Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Цахилгааны инженерийн салбар
Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: otsogoo@must.edu.mn

Хураангуй: **Цахилгаан шугам сүлжээний төлөвлөлт болон ашиглалтын явцад цахилгаан шугам сүлжээний найдвартай ажиллагааг ханган ажиллахын тулд боломжит хамгийн бага ашиглалтын зардалтайгаар найдвартай ажиллагааг бүрдүүлэх асуудал чухал байдаг. Цахилгаан шугам сүлжээний үндсэн элемент болох өндөр хүчдэлийн цахилгаан дамжуулах агаарын шугам ба дэд станцын цахилгаан энергийн дамжуулалтын эдийн засгийн математик загварыг байгуулж гүйдэл, хүчдэл болон шугамын огтлолын оновчтой утгыг тодорхойлоход энэхүү өгүүллийн гол зорилго оршино. Тус судалгааны ажлаар 110 кВ-ын хүчдэлтэй цахилгаан дамжуулах шугам, дэд станц болон цахилгаан шугам сүлжээний хувьд цогц байдлаар цахилгаан энергийн дамжуулалтын 4 хувилбар авч үзэж стандарт хүчдэлд харгалзах оновчтой хүчдэлийн утга 117.8 кВ гарсан ба тус утгад харгалзах математик загварыг гарган авсан болно.**

Түлхүүр үг: оновчтой хүчдэл, цахилгаан энерги, цахилгаан дамжуулах агаарын шугам, дэд өртөө, өртөг

I. Оршил

Цахилгаан шугам сүлжээний ашиглалт болон хэтийн төлөвийн судалгааны үед цахилгаан шугам сүлжээний найдваржилтыг ханган ажиллахын тулд ихээхэн зардал шаардагддаг. Иймд хамгийн бага зардалтайгаар цахилгаан дамжуулах шугам сүлжээний хэвийн үйл ажиллагааг хангах асуудал чухлаар тавигдаж байна.

Цахилгаан системийн тоноглолуудын ажлын горим бусад элементүүдийн ажлын горимоос хамаардаг ба эцсийн үр дүнд нийт цахилгаан системийн ажлын горимоос хамаардаг [1]. Хэдийгээр тухайн тоног төхөөрөмжийн оновчтой горимыг тодорхойлохдоо нийт цахилгаан системийн хувьд авч үздэг ба авч үзэж буй тоног төхөөрөмжийн онцлог болон түүний ажлын горимоос хамаарч тухайн тоног төхөөрөмжийг салангид байдлаар авч үзэж болно. Тухайлбал цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын үндсэн чиг үүргийн хувьд түүний параметрүүдийн оновчтой утгыг тодорхойлоход гол зорилго оршино [2].

Цахилгаан системийн техник-эдийн засгийн судалгааны оновчлолын тооцоо нь судалгааны үндсэн зорилгыг, тухайлбал техникийн бүх боломжтой шийдлүүдийн дундаас эдийн засгийн хувьд хамгийн үр ашигтай сонголтыг гаргаж өгдөг. Оновчтой шийдлийг сонгон авахын тулд авч үзэж буй байгууламжийн хамгийн бага зардлын утгыг тодорхой нөхцөл ба хязгаарлалтуудыг тооцсон үед олох шаардлагатай байдаг [3].

Цахилгаан энергийн дамжуулалтын оновчлолыг хийхийн тулд цахилгаан шугам сүлжээний үндсэн тоноглолуудын өртгийн тодорхойломжийг үнэн зөв байгуулах шаардлагатай юм [4]. Цахилгаан шугам сүлжээний үндсэн хэсэг нь өндөр хүчдэлийн цахилгаан дамжуулах агаарын шугам ба дэд өртөө юм. Ийм учраас цахилгаан дамжуулах агаарын шугам, дэд өртөөний эдийн засгийн загварыг байгуулж [4] улмаар гүйдэл, хүчдэлийн болон цахилгаан энергийн дамжуулалтын оновчтой утгуудыг олоход энэхүү өгүүллийн гол зорилго оршино.

II. Цахилгаан эрчим хүчний дамжуулалтын оновчлол

Цахилгаан шугам сүлжээний цахилгаан эрчим хүчний дамжуулалтын оновчлолын судалгааг хийхийн тулд оновчлолын зорилгын функцийг боловсруулах шаардлагатай. Өндөр хүчдэлийн цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын оновчлолын зорилгын функцийг [5] бүтээлд цахилгаан дамжуулах агаарын шугам болон дэд станцын өртгийн тодорхойломжоор дараах хэлбэрт гарган авсан болно.

Цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын өртгийн тодорхойломж:

Цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын өртгийг тодорхойлохдоо нэг км урт цахилгаан дамжуулах агаарын шугамыг барих дундаж өртгийг авч үзнэ. Цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын байрлаж буй газар зүйн байрлалаас хамаарч 1 км урттай цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын өртөг олон хүчин зүйлээс хамаардаг. Ерөнхийд нь гурав хуваж авч үзсэн болно.

1. Цахилгаан дамжуулах шугамын тулгуурыг тооцсон дамжуулагчийн хөндлөн огтлолоос хамаарсан;
2. Цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын фаз хоорондын болон фаз газар хоорондын зайг тодорхойлох хүчдэл ба тулгуурын хийцийн төрлөөс хамаарсан;
3. Цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын дамжуулагчийн хөндлөн огтлол болон хүчдэлээс хамаарахгүй.

Тэгвэл нэг км урттай агаарын шугамын өртөг дараах байдалтай гарна.

$$C_ш = C_{ш0} + C_{ш1}U + C_{ш2}F + \left(\frac{k_0}{F}\right)I^2 \quad (1)$$

үүнд: $C_{ш0}$ -цахилгаан дамжуулах шугамыг барихад хүчдэл болон дамжуулагчийн огтлолоос хамаарахгүй тогтмол зардал;

$C_{ш1}$ -шугамын хүчдэлийн түвшингөөс хамаарах зардал;

$C_{ш2}$ -шугамын дамжуулагчийн огтлолоос хамаарах зардал;

U -хүчдэл;

F -хөндлөн огтлол.

Дэд өртөөний өртгийн тодорхойломж:

Дэд өртөөг барих зардал нь дэд өртөөнд суурилуулсан бүхий л тоноглолуудыг агуулсан, шугамын параметрүүд, шинийн систем, туслах тоног төхөөрөмжүүдийн хэвийн гүйдэлтэй шууд холбоотой үндсэн төхөөрөмжүүдийн хүчдэл ба чадлаар тодорхойлогдоно. Иймд дэд өртөөний зардлыг дэд өртөөтэй холбогдож буй цахилгаан дамжуулах шугамын дамжуулах чадал ба хүчдэлээс хамаарах функц хэлбэрт тодорхойлно. Гэвч энэ илэрхийлэл хэт нийлмэл бөгөөд нарийвчлал багатай байдаг. Учир нь дамжуулж буй бодит чадлаас болон түгээж буй цахилгаан эрчим хүчний чанараас ихээхэн хамаарч харилцан адилгүй өртөгтэй олон хувилбар гарч ирдэг.

Тус судалгаагаар түгээж буй цахилгаан эрчим хүчний чанар нь шаардлага хангаж байна гэж үзэж дэд өртөөг барих өртгийг ойролцоогоор тодорхойлсон болно. Дэд өртөөний өртгийг хоёр хэсгээс бүрдэнэ гэж авч үзсэн:

- Трансформатор болон түүний хамгаалалтын өртөг;
- Хяналт, хамгаалалтын туслах тоног төхөөрөмжүүдийг багтаасан шугамын гаргалгаанууд өртөг.

Эдгээр өртгүүд нь хүчдэл, багаж тоног төхөөрөмжүүдийн хүчин чадал болон дамжуулж буй гүйдлээс хамаарсан функц байна.

$$C_{д/ст} = C_{д/ст0} + C_{д/ст1}U + C_{д/ст2}P + C_{д/ст3}I\,, \quad (2)$$

үүнд: $C_{д/ст0}$ -хүчдэл болон чадлаас хамааралгүй тогтмол өртөг;

$C_{д/ст1}$ -хүчдэлээс хамаарах өртөг;

$C_{д/ст2}$ -бодит чадлаас хамаарах өртөг;

$C_{д/ст3}$ - дамжуулах гүйдлээс хамаарах өртөг.

Цахилгаан дамжуулах шугам болон дэд өртөөний өртгийн математик загвар (1), (2)-д хязгаарлалын нөхцөлийг тооцож цахилгаан дамжуулах шугам болон дэд өртөөний хувьд зорилгын функц нь:

$$C_ш = C_{ш0} + C_{ш1}U + C_{ш2}F + \left(\frac{k_0}{F}\right)I^2 + \\ + \lambda\left(\frac{P}{\sqrt{3}} - UI\right) \to \min \quad (3)$$

$$C_{д/ст} = C_{д/ст0} + C_{д/ст1}U + \sqrt{3}C_{д/ст2}UI + \\ + C_{д/ст3}I + \lambda\left(\frac{P}{\sqrt{3}} - UI\right) \to \min \quad (4)$$

Судалгааг хийхийн тулд (1) ба (2) өртгийн тодорхойломжуудын гишүүдийн коэффициентуудыг тодорхойлох шаардлагатай. Үүний тулд тухайн коэффициентуудыг түүний хувьсах параметрийн нэгжид шилжүүлж олно. Тус судалгаанд Улаанбаатар дэд станцаас Налайх чиглэлд гарсан 110 кВ-ын фидерийг сонгосон. Тус цахилгаан шугам сүлжээний 110 кВ-ын цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын хувьд (1)-р тэгшитгэлийн өртгийн коэффициентуудыг олно. Үүний тулд цахилгаан шугам сүлжээний өртгийн судалгааг 2024 оны байдлаар хийсэн. Тус цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын нийт өртөг $C_{шΣ}$=28400 сая.төг, цахилгаан дамжуулах агаар шугамын нийт урт $l_Σ$=160 км тул 1 км урт цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын суурь өртөг $C_{ш.суурь}$=177.5 сая.төг/км болно.

Цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын өртгийг хүчдэлээс хамаарах өртөг, тогтмол өртөг, шугамын дамжуулагчийн хөндлөн огтлолоос хамаарах өртөг гэж хуваагдах ба эдгээр өртгүүдийн дөрвөн хувилбарыг авч үзсэн. Тус хувилбаруудын тооцооны үр дүнг 1-р хүснэгтэд харуулав.

110 кВ-ЫН ЦАХИЛГААН ДАМЖУУЛАХ АГААРЫН ШУГАМЫН ӨРТГИЙН ХУВААРИЛАЛТЫН ХУВИЛБАРУУД

1-Р ХҮСНЭГТ

Хувил-бар	**Тогтмол өртөг, $C_{ш0}$**		**Хүчдэлийн түвшнээс хамаарах өртөг, $C_{ш1}$**		**Дамжуулагчийн хөндлөн огтлолоос хамаарах өртөг, $C_{ш2}$**	
	%	сая.төг/км	%	сая.төг / км·кВ	%	сая.төг/ км·мм^2
1	10	17.75	25	0.403	65	0.961
2	10	17.75	20	0.323	70	1.035
3	10	17.75	15	0.242	75	1.109
4	10	17.75	10	0.161	80	1.183

Цахилгаан дамжуулах агаар шугамын тогтмол өртөг нь хүчдэл болон шугамын огтлолоос хамаарахгүй ба тус тооцоонд 10 % гэж авсан.

Цахилгаан дамжуулах шугамын оновчтой хүчдэлийг [2] бүтээлийн (7)-р томьёогоор олно. Үүний тулд $к_0$ коэффициентыг тодорхойлно. АС-120 маягийн дамжуулагчийн хувийн эсэргүүцэл r_0=0.249 Ом·мм^2/км болно.

Монгол улсад мөрдөгдөж байгаа 1 кВт.ц цахилгаан эрчим хүчний тариф нь хэрэглэгчдийн төрлөөс хамаарч 5 төрөл байдаг ба тэдгээрийн үнийг 2-р хүснэгтэд үзүүлэв [6].

ЦАХИЛГААН ЭРЧМИЙН ҮНЭ, ТАРИФ

2-Р ХҮСНЭГТ

Хэрэглэгчдийн төрөл	1 кВт.ц цахилгаан эрчмийн үнэ, төг/кВт.ц
Уул уурхайн олборлох, боловсруулах үйлдвэр	285
Бусад үйлдвэр, аж ахуйн нэгж байгууллага	265
300 кВт.ц-аас их хэрэглэдэг айл өрх	285
150 кВт.ц-аас их, 300 кВт.ц-аас ихгүй хэрэглэдэг айл өрх	256
150 кВт.ц хүртэлх хэрэглээтэй айл өрх	175
Дундаж үнэ	253.2

110 кВ-ын цахилгаан шугам сүлжээний их алдагдлын хугацааг тогтсон горимын тооцоо хийж тодорхойлсон ба τ=2650 цаг гэж гарсан. Тус хугацааг ашиглан κ_0 коэффициентыг тодорхойлбол:

$$\kappa_0 = 3 \cdot r_0 \tau \beta_0 \cdot 10^{-3} = \ 501 \text{ төг·мм}^2\text{/км·А}^2$$

110 кВ-ын цахилгаан шугам сүлжээний оновчтой хүчдэлийн утгыг хувилбар бүрээр тодорхойлж үр дүнг 3-р хүснэгтэд харуулав.

110 КВ-ЫН ЦАХИЛГААН ШУГАМ СҮЛЖЭЭНИЙ ХУВИЛБАРУУДЫН ОНОВЧТОЙ ХҮЧДЭЛ

3-Р ХҮСНЭГТ

Хувилбар	Оновчтой хүчдэл, кВ
1	86.83
2	98.9
3	116.19
4	144.61

3-р хүснэгтэд тодорхойлогдсон хүчдэлийн стандарт хүчдэлд харгалзах хүчдэлийн оновчтой утга U_0=116.19 кВ буюу 3-р хувилбарт харгалзаж байна.

110 кВ-ын дэд өртөөний оновчлолыг авч үзье. 110 кВ-ын цахилгаан шугам сүлжээний дэд өртөөнүүдийн нийт өртөг $C_{д/ст\Sigma}$=34015 сая.төг болно. Дэд өртөөнүүдийн нийт өртгийг хувьсах параметрүүд (U, P, I)-ээс хамааруулан 4 хувилбараар авч үзэж үр дүнг 4-р хүснэгтэд харуулав.

110 КВ-ЫН ДЭД ӨРТӨӨНҮҮДИЙН ӨРТГИЙН ХУВААРИЛАЛТЫН ХУВИЛБАРУУД

4-Р ХҮСНЭГТ

Хувилбар	Дэд өртөөний тогтмол өртөг, $C_{д/ст0}$		Хүчдэлийн түвшингөөс хамаарах өртөг, $C_{д/ст1}$		Бодит чадлаас хамаарах өртөг, $C_{д/ст2}$		Гүйдлээс хамаарах өртөг, $C_{д/ст3}$	
	%	сая.төг /МВА	%	сая.төг/ МВА·кВ	%	сая.төг/ МВА·МВт	%	сая.төг/ МВА·кА
1	5	6.86	20	0.249	40	0.461	35	69.14
2	5	6.86	25	0.312	35	0.403	35	69.14
3	5	6.86	30	0.374	30	0.346	35	69.14
4	5	6.86	35	0.436	25	0.288	35	69.14

Оновчлолын тооцоог хийхдээ дэд өртөөнүүдийн нийлбэр хэвийн чадалд ноогдох суурь өртгийг тодорхойлно. 110 кВ-ын цахилгаан шугам сүлжээний дэд өртөөнүүдийн нийт өртөг 34015 сая.төг, нийлбэр хэвийн чадал $S_{ном\Sigma}$=248 МВА байгаа ба нэгж суурь өртөг $C_{д/ст.суурь}$=137.157 сая.төг/МВА болно.

Дэд өртөөний стандарт хүчдэлд харгалзах оновчтой хүчдэлийг [5] бүтээлийн (18)-р томьёогоор тодорхойлж үр дүнг 5-р хүснэгтэд үзүүлэв.

ДЭД ӨРТӨӨНИЙ ХУВИЛБАРУУДЫН ОНОВЧТОЙ ХҮЧДЭЛ

5-Р ХҮСНЭГТ

Хувилбар	Оновчтой хүчдэл, кВ
1	141.8
2	126.8
3	115.8
4	107.2

Судалгааны үр дүнгээс харахад дэд өртөөний хүчдэлийн оновчтой утга U_0=115.8 кВ нь дэд өртөөний нийт өртгийн 30 %-ийг хүчдэлийн түвшингөөс, 30 %-ийг бодит чадлаас, 35 %-ийг гүйдлээс хамаарах хэсэгт ногдож байхад гарч байна.

III. ЦАХИЛГААН ШУГАМ, ДЭД ӨРТӨӨНИЙ ЦОГЦ БАЙДЛААР АВЧ ҮЗСЭН ОНОВЧЛОЛЫН СУДАЛГАА

Цахилгаан шугам сүлжээний цахилгаан энергийн дамжуулалтын оновчлолын судалгааг цахилгаан дамжуулах шугам болон трансформаторын дэд өртөөний цогц байдлаар авч үзэх хэрэгтэй байдаг. [5] бүтээлд энэ аргачлалыг авч үзэж хүчдэлийн оновчтой утгыг [5] бүтээлийн (25)-р хэлбэрт олох томьёог гарган авсан. Оновчтой утгыг 4 хувилбараар тодорхойлж үр дүнг 6-р хүснэгтэд харуулав.

110 КВ-ЫН ЦАХИЛГААН ШУГАМ СҮЛЖЭЭНИЙ ЭНЕРГИЙН ДАМЖУУЛАЛТЫН ОНОВЧТОЙ ХҮЧДЭЛ

6-Р ХҮСНЭГТ

Хувилбар	Оновчтой хүчдэл, кВ
1	88.17
2	100.45
3	117.8
4	145.96

Судалгааны үр дүнгээс харахад 110 кВ-ын цахилгаан шугам сүлжээний хүчдэлийн оновчтой утга U_0=117.8 кВ нь цахилгаан дамжуулах шугамын өртгийн хүчдэлээс 75 %, дамжуулагчийн хөндлөн огтлолоос 15 %, дэд өртөөний хүчдэлийн түвшнээс 25 %, бодит чадлаас 35 %, гүйдлээс хамаарах өртөг 35% байх үед харгалзан гарч байгаа болно. Судалгааны үр дүнгээс оновчтой хүчдэлд харгалзах цахилгаан шугам сүлжээний зардлын математик загвар нь дараах байдлаар тодорхойлогдоно.

$$C_{бүр.110} = (l \cdot 17.15 + 6.86) + (l \cdot 0.242 + 0.312)U +$$

$$+ 0.4P + (2l\sqrt{k_0 \cdot 1.11} + 72.407)I$$

ДҮГНЭЛТ

Цахилгаан шугам сүлжээний техник-эдийн засгийн үр ашиг цахилгаан шугам сүлжээний хүчдэлийн түвшин, хүчин чадал, тулгуурын хийц маяг, хөрөнгө оруулалт, цахилгаан шугам сүлжээний ашиглалтын зардал зэрэг хүчин зүйлээс хамаардаг.

Монгол улсад түгээмэл хэрэглэгдэж буй 110 кВ-ын төмөр-бетон тулгууртай шугам сүлжээний хувьд цахилгаан эрчим хүчний дамжуулалтын оновчлолын судалгааг гүйцэтгэсэн.

Тус судалгааг гүйцэтгэхийн тулд Налайх 110 кВ-ын хүчдэлтэй фидерийн бүхий л цахилгаан тоног төхөөрөмжүүдийн өртгийг зах зээлийн үнэ ханшаар тодорхойлж цахилгаан дамжуулах агаарын шугам болон дэд өртөөнүүдийн өртгийн дөрвөн хувилбараар авч үзэж нийлбэр өртгийг тодорхойлсон болно. Тус фидерийн 2024 оны их ачааллын хэмжилт, сар бүрийн дамжуулсан цахилгаан эрчим хүчээр чадлын урсгалын тооцоо болон цахилгаан эрчим хүчний алдагдлыг хэд хэдэн хувилбараар тооцож хэвийн горимд үнэлэлт хийсэн.

110 кВ-ын цахилгаан шугам сүлжээний цахилгаан эрчим хүчний дамжуулалтын оновчлолын математик загварыг боловсруулж, тэдгээрийн хувьсах параметрүүдээс хамаарах өртгийн коэффициентуудыг цахилгаан дамжуулах шугам, дэд өртөө тус бүрээр хэд хэдэн хувилбараар тодорхойлж 110 кВ-ын цахилгаан шугам сүлжээний цахилгаан эрчим хүчний дамжуулалтын оновчлолын судалгааг гүйцэтгэж хүчдэлийн оновчтой хэмжээг тодорхойлсон болно. Судалгаагаар гарган авсан 110 кВ-ын цахилгаан энергийн дамжуулалтын оновчлолын математик загваруудыг цахилгаан шугам сүлжээний хэтийн төлөвлөлт, зураг төслийн үед ашиглах боломжтой юм.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] Пелисье Рене. Энергетические системы/Пер. с франц. – М.:Высш. школа, 1982. -528с. ил.

[2] Иржи Клим. Оптимизация энергетических систем: перевод с чешского/Под ред. В.Р.Окоркова. –М.: Высшая школа, 1991. -302с.

[3] Глазунов А.А., Глазунов А.А. Электрические сети и системы. –М.:Госэнергоиздат, 1960. -368с.

[4] Д.Содномдорж, О.Цогбаяр. Цахилгаан эрчим хүчний техник-эдийн засгийн зангилаа асуудалд. Эрчим хүч & engineering. 2020-2(192).

[5] Д.Содномдорж, О.Цогбаяр. Цахилгаан шугам сүлжээний энергийн дамжуулалтын оновчтой загвар боловсруулах. ШУТИС-ийн профессор багш нарын эрдэм шинжилгээний бүтээлийн эмхэтгэл №1/272, 2020 он.

[6] https://erc.gov.mn/web/mn/tariff-center, 2025.02.10

10 кВ-ЫН ЦАХИЛГААН ШУГАМ СҮЛЖЭЭНИЙ ЧАДАЛ ЭРЧМИЙН АЛДАГДЛЫГ БУУРУУЛАХ СУДАЛГАА

Түмэнбаярын БИЛГҮҮН[1, 2], Буянтогтохын МЯГМАРРЕНЧИН[2], Онхын ЦОГБАЯР[2]
[1]Монгол улс, Өмнөговь аймаг, ШУТИС, Өмнөговь технологийн дээд сургууль,
[2]Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Цахилгааны инженерийн салбар,
**Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: [1]tbilguun25@must.edu.mn*

***Хураангуй*: 10кВ-ийн Эмнэлэг болон Ханхонгор фидерийн эрчмийн алдагдлыг бууруулах судалгаа хийх нь энэхүү өгүүллийн гол зорилго юм. Хуучин трансформаторуудыг аморф трансформатораар солих нь эрчим хүчний алдагдлыг бууруулах үр дүнтэй арга бөгөөд трансформаторын хоосон явалтын алдагдлыг багасгаж, эрчим хүчний хэмнэлтийг нэмэгдүүлдэг. Судалгааны үр дүнд аморф трансформатор ашигласнаар эрчмийн алдагдал буурч, цахилгаан түгээх сүлжээний найдвартай ажиллагаа сайжирч байгааг харуулсан. Уг судалгаанд Эмнэлэг , Ханхонгор фидерүүдийн 2024 оны 12 дугаар сарын 24 ний өвлийн их ачааллын хэмжилтийг ашиглаж гүйцэтгэсэн.**

Түлхүүр үг: цахилгаан түгээх сүлжээ, цахилгаан дамжуулалт, эквивалент загварчлал, эрчмийн алдагдал, чадлын алдагдал

I. ОРШИЛ

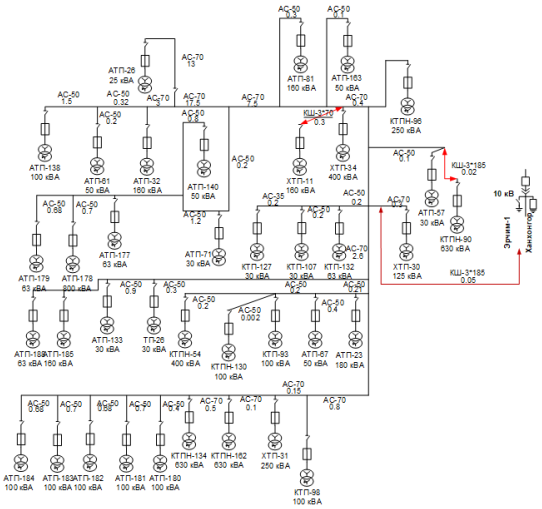
Зах зээлийн өнөөгийн нөхцөлд эдийн засгийн шилжилтийн байдал удааширч, хэрэглэгчдийн төлбөрийн чадвар муудаж байгаа үед цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээ байнга өсөж байгаатай уялдан хуваарилах сүлжээний чадал, эрчмийн алдагдал, борлуулалтын болон эрчим хүчний хулгайн хэмжээ нэмэгдэж энэ бүх алдагдлыг техникийн алдагдлын нэр дор хамруулан их хэмжээний эрчим хүчийг борлуулж чадахгүй, үр ашиггүй алдаж байна. Иймд цахилгаан шугам сүлжээ, түүний дотроос хуваарилах сүлжээний техникийн алдагдлыг үнэн зөвөөр тодорхойлсноор энэ алдагдлын хэмжээг багасгах арга хэмжээг боловсруулах, хамгийн үр ашигтай горимоор ажиллах нөхцөлийг үнэн тодорхойлох шаардлага зайлшгүй тавигдаж байна.

Эрчмийн алдагдлыг бууруулахад ашиглаж болох олон төрлийн техник, технологийн шийдлүүд байдаг ч энэ судалгааны зорилго нь аморф трансформатор, СИП-3 болон СИП-4 төрлийн дамжуулагч ашиглан фидерүүдийн эрчмийн алдагдлыг багасгах боломжийг тооцоолох, шинэчилгэ хийхэд оршино [1].

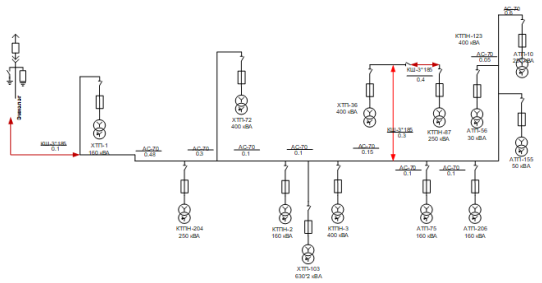
Цахилгаан шугам сүлжээг бүрдүүлж байгаа бүхэл элементүүдэд эрчмийн алдагдлыг бууруулах хэмнэлтийн бодлого боловсруулах бололцоо байдаг ба энэхүү ажлыг гүйцэтгэх үндэслэл юм.

II. СУДАЛГААНЫ АРГА, ТООЦООЛЛЫН АРГАЧЛАЛ

6, 10 кВ-ын дэд станцад горимын параметрийг байнга хэмжих хэрэгсэл болон хэмжилтийн үр дүн байхгүй. Иймээс эрчмийн алдагдлыг тооцоолоход горимын тооцоонд тулгуурласан алдагдлын хугацааны (t-гийн арга) аргуудыг ашиглах нь тохиромжгүй. 6, 10 кВ-ын сүлжээний эрчмийн алдагдлыг тооцоолохын тулд цуглуулах боломжтой анхдагч мэдээллүүдэд тулгуурласан аргыг ашигладаг. Бүхэл бус горимын анхдагч мэдээлэлтэй шугам сүлжээний хувьд тодорхой нарийвчлалтай үр дүн гарган өгдөг аргууд байдаг. 6, 10 кВ-ын сүлжээ нь олон шугам, трансформатораас тогтдог учраас эдгээрийг нэг шугам, нэг трансформатораар орлуулан эрчмийн алдагдлыг тодорхойлох аргыг "Эквивалент загварчлалын арга" гэж нэрлэдэг. Энэ аргыг ихэвчлэн 6, 10 кВ-ын сүлжээнд ашиглахаас гадна 0.4 кВ ба 35 кВ-ын шугам сүлжээний эрчмийн алдагдлын тооцоонд ашиглаж болно. Эквивалент загварчлалын аргаар тооцоо хийхийн тулд хялбар загварын шугам, трансформаторын параметрүүдийг горимын тооцооны үр дүнд тулгуурлан тодорхойлно. Мөн шугам сүлжээний бүтцэд, шугам болон трансформаторын үндсэн параметрүүдийн тусламжтайгаар эдгээр параметрүүдийг олж болно [2]. Тус судалгааны объектоор Өмнөговь аймгийн Эмнэлэг, Ханхонгор фидерүүдийг сонгож авсан ба тус фидерүүдийн зарчмын схемийг зураг 1 болон зураг 2-т тус тус үзүүлэв.



Зураг 1. Ханхонгор фидерийн бүтцийн схем



Зураг 2. Эмнэлэг фидерийн бүтцийн схем

Эрчмийн алдагдлыг тодорхойлох аргачлал: Эквивалент загварын параметрүүдийг тодорхойлсны дараа эрчмийн алдагдлын тооцоог доор дараалын дагуу хийнэ. Үүнд:

1. Шугамын эрчмийн алдагдал.

$$\begin{cases} \Delta W_{ш}^{P} = \dfrac{\alpha^2 k_{ф}^2 [(W_{тол}^{P})^2 + (W_{тол}^{Q})^2]}{T * U_{ном}^{\ 2}} * R_{э}^{ш} \\ \Delta W_{ш}^{Q} = \Delta W_{ш}^{P} * \dfrac{X_{э}^{ш}}{R_{э}^{ш}} \end{cases} \quad (1)$$

2. Трансформаторын шин дээрх хүчдэл

$$U_{Тр} = U_{Толё} - \frac{(W_P R_{э}^{ш} + W_Q X_{э}^{ш})}{(T * U_{Тол})} \quad (2)$$

3. Хоосон явалтад алдагдах эрчмийн алдагдлыг тодорхойлно.

$$\begin{cases} \Delta W_{p}^{xx} = T * U_{Тр}^{\ 2} G_{э}^{Тр} \\ \Delta W_{Q}^{xx} = T * U_{Тр}^{\ 2} B_{э}^{Тр} \end{cases} \quad (3)$$

4. Трансформаторын эрчмийн алдагдлыг тодорхойлохын тулд трансформаторын ороомгоор дамжих эрчим хүчийг олно.

$$\begin{cases} W_{m.o}^{p} = W_{тол}^{\ p} - \Delta W_{ш}^{p} - \Delta W_{xx}^{\ p} \\ W_{m.o}^{Q} = W_{тол}^{\ Q} - \Delta W_{ш}^{Q} - \Delta W_{xx}^{\ Q} \end{cases} \quad (4)$$

5. Трансформаторын ороомог дээрх эрчмийн алдагдлыг олно

$$\begin{cases} \Delta W_{m.o}^{P} = \dfrac{(\alpha^2 k_{ф}^2 [(W_{m.o}^{P})^2 + (W_{m.o}^{Q})^2])}{(T \cdot U_{m}^{\ 2})} * R_{э}^{тр} \\ W_{(T,O)}^{Q} = \Delta W_{тр}^{\ P} * \dfrac{X_{э}^{тр}}{R_{э}^{тр}} \end{cases} \quad (5)$$

6. Нийт алдагдлын хэмжээг нэртэй нэгжээр болон харьцангуй нэгжээр тодорхойлно.

$$\begin{cases} \Delta W_{m.o}^{p} = \Delta W_{m}^{p} + \Delta W_{xx}^{\ p} + \Delta W_{m.o}^{p} \\ \Delta W_{m.o}^{Q} = \Delta W_{m}^{Q} + \Delta W_{xx}^{\ Q} + \Delta W_{m.o}^{Q} \end{cases} \quad (6)$$

$$\Delta W_{\Sigma\%}^{P} = \frac{(\Delta W_{\Sigma}^{P})}{(W_{тол}^{\ P})} * 100\% \ ; \quad \Delta W_{\Sigma\%}^{Q} = \frac{\Delta W_{\Sigma}^{Q}}{W_{тол}^{\ Q}} * 100\% \quad (7)$$

7. Алдагдлын тооцоонд бүтцийн судалгаа хийж байгаа үед үндсэн гурван төрлийн (шугамын, трансформаторын ороомгийн, хоосон явалтын) алдагдлыг нэртэй нэгжээр болон харьцангуй байдлаар тодорхойлно. Шугамын бодит алдагдал

$$\Delta W_{m.\%} = \frac{\Delta W_{m}}{\Delta W_{\Sigma}} * 100\% \quad (8)$$

8. Трансформаторын ороомогт алдагдах бодит алдагдал

$$\Delta W_{тр.\%} = \frac{\Delta W_{тр}}{\Delta W_{\Sigma}} * 100\% \quad (9)$$

9. Трансформаторын ган дээрх бодит алдагдлыг олно

$$\Delta W_{xx\%} = \frac{\Delta W_{xx}}{\Delta W_{\Sigma}} * 100\% \quad (10)$$

Дамжууламжийг тогтмол алдагдал хэлбэрээр тооцох үед ган дээрх алдагдлыг дараах маягаар олно [3]

$$\begin{cases} \Delta W_{xx}^{\ p} = T * P_{xx}^{\ Э} \\ \Delta W_{xx}^{\ Q} = T * Q_{xx}^{\ Э} \end{cases} \quad (11)$$

III. ТӨСЛИЙН ХҮРЭЭНД ХИЙГДСЭН АРГА ХЭМЖЭЭНҮҮД

А.Тооцооны шинэлэг тал

Судалгаа хийсэн 10 кВ-ын Эмнэлэг болон Ханхонгор фидерүүдийн хувьд хүчний трансформаторууд нь хэрэглэгчийн ачаалалд таарахгүй байсан ба трансформаторын хоосон явалтын алдагдал, трансформатор дээрх ачааллын алдагдал их байна [4].

1-р болон 2-р хүснэгтэнд 10 кВ-ын Эмнэлэг болон Ханхонгор фидерүүдийн чадлын алдагдлын эзлэх хувийг бүтцээр нь задлан харуулав.

10 КВ-ЫН ЭМНЭЛЭГ ФИДЕРИЙН ЧАДЛЫН АЛДАГДАЛ

1-Р ХҮСНЭГТ

Чадлын алдагдал	
Алдагдлын бүтэц	%
Шугамын алдагдал	26
Трансформаторын ачааллын алдагдал	54
Трансформаторын хоосон явалтын алдагдал	20

10 КВ-ЫН ХАНХОНГОР ФИДЕРИЙН ЧАДЛЫН АЛДАГДАЛ

2-Р ХҮСНЭГТ

Чадлын алдагдал	
Алдагдлын бүтэц	%
Шугамын алдагдал	13
Трансформаторын ачааллын алдагдал	10
Трансформаторын хоосон явалтын алдагдал	77

Чадал эрчмийн алдагдлын тооцооны “DIGSILENT Power factory” программыг ашиглан цахилгаан шугам сүлжээг загварчлан эрчмийн алдагдлыг боловсруулан гарган авсан ба эрчмийн алдагдал багатай шинэ хийцийн аморф трансформатор болон цахилгаан дамжуулах шугамд зориулсан хамгаалалтын бүрээстэй “Заря” маркийн СИП-3 болон СИП-4 маркийн дамжуулагчийг сонгон ашигласан.

Аморф трансформатор нь аморф металл зүрхэвчтэй, эрчим хүчний өндөр үр ашигтай төхөөрөмж юм. Эмх замбараагүй бүтэцтэй тул эргэлтийн гүйдэл, гистерезисийн алдагдал багасаж, эрчим хүчний хэмнэлттэй ажилладаг. Төмрийн алдагдал бага, хөнгөн, авсаархан, суурилуулахад хялбар, ашиглалтын хугацаа урт. Байгаль орчинд ээлтэй, хүлэмжийн хийн ялгарлыг бууруулдаг. Ихэвчлэн цахилгаан түгээх дэд станц, өндөр үр ашигтай системд ашиглагддаг [5].

СИП дамжуулагч утасны хувьд цахилгаан хэрэглэгчдийг маш өндөр нарийвчлалтайгаар эрчим хүчээр хангах бөгөөд шугамд үүсэх гэмтлийг бууруулахад ихээхэн ач холбогдолтой байдаг. Ил дамжуулагчтай харьцуулахад аюулгүй ажиллагаа сайжирч, богино залгааны эрсдэл буурдаг. Хөнгөн цагаан судалтай, полиэтилен тусгаарлагчтай тул механик болон цаг уурын нөлөөнд тэсвэртэй. Суулгахад хялбар, ашиглалтын хугацаа урт тул хот, суурин газрын түгээх сүлжээнд өргөн хэрэглэдэг. [6]

В.Тооцооны үр дүн

Судалгааны явцад энгийн хийцтэй Орос болон Хятад улсад үйлдвэрлэсэн трансформаторын оронд аморф трансформатор, АС дамжуулагчийн оронд СИП маркийн дамжуулагчийг ашигласан судалгааны тооцоог хийсэн. [7]

Эмнэлэг болон Ханхонгор фидер нь 2024 оны байдлаар 10/0.4 кВ-ын 23 АТП, 4 ХТП, 9 ТП , 1 КТПН болон Эмнэлэг, Ханхонгор фикерүүд нь АС-70 ба АС-50 маркийн 67.17 км агаарын шугам АББЛУ-185/10 маркийн 1.6 км урттай кабель шугамаас бүрдсэн суурилагдсан хүчин чадал нь 8494 кВА байна.

10 кВ-ын Эмнэлэг болон Ханхонгор фидерүүдийн одоо байгаа чадлын алдагдал болон аморф трансформатортай байх үеийн харьцуулалтыг 1-р болон 2-р хүснэгтэд харуулав.

10 КВ-ЫН ЭМНЭЛЭГ ФИДЕРИЙН ЧАДЛЫН АЛДАГДАЛ

3-Р ХҮСНЭГТ

Хувилбар	Чадлын алдагдал, кВт		
	Алдагдлын төрөл	кВт	Нийт
Хуучин	Цахилгаан дамжуулах шугамын алдагдал	6,9	26,15
	Трансформаторын хоосон явалтын алдагдал	14,02	
	Трансформаторын ачааллын алдагдал	5,23	
Шинэ	Цахилгаан дамжуулах шугамын алдагдал	9.67	27.57
	Трансформаторын хоосон явалтын алдагдал	14.4	
	Трансформаторын ачааллын алдагдал	3.47	

10 КВ-ЫН ХАНХОНГОР ФИДЕРИЙН ЧАДЛЫН АЛДАГДАЛ

4-Р ХҮСНЭГТ

Хувилбар	Чадлын алдагдал, кВт		
	Алдагдлын төрөл	кВт	Нийт
Хуучин	Цахилгаан дамжуулах шугамын алдагдал	15.51	37.7
	Трансформаторын хоосон явалтын алдагдал	11.23	
	Трансформаторын ачааллын алдагдал	10.96	
Шинэ	Цахилгаан дамжуулах шугамын алдагдал	21.09	40.64
	Трансформаторын хоосон явалтын алдагдал	6.07	
	Трансформаторын ачааллын алдагдал	13.48	

10 кВ-ын Эмнэлэг болон Ханхонгор фидерүүдийн 1-р болон 2-р хүснэгтэд харьцуулсан чадлын алдагдлыг ашиглаж одоо байгаа трансформатортай байх үеийн чадлын алдагдал болон аморф трансформатортай байх үеийн харьцуулалтыг 5-р болон 6-р хүснэгтэд харуулав.

10 КВ-ЫН ЭМНЭЛЭГ ФИДЕРИЙН ЭРЧМИЙН АЛДАГДАЛ

5-Р ХҮСНЭГТ

Хувилбар	Эрчмийн алдагдал, кВт.цаг		
	Алдагдлын төрөл	кВт.цаг	Нийт
Хуучин	Цахилгаан дамжуулах шугамын алдагдал	24536.25	120087.18
	Трансформаторын хоосон явалтын алдагдал	45891.37	
	Трансформаторын ачааллын алдагдал	49659.56	
Шинэ	Цахилгаан дамжуулах шугамын алдагдал	34280.56	115690.75
	Трансформаторын хоосон явалтын алдагдал	30413.3	
	Трансформаторын ачааллын алдагдал	50996.89	

10КВ-ЫН ХАНХОНГОР ФИДЕРИЙН ЭРЧМИЙН АЛДАГДАЛ

6-Р ХҮСНЭГТ

Хувилбар	Эрчмийн алдагдал, кВт.цаг		
	Алдагдлын төрөл	кВт.цаг	Нийт
Хуучин	Цахилгаан дамжуулах шугамын алдагдал	52728.49	188390.51
	Трансформаторын хоосон явалтын алдагдал	98391.53	
	Трансформаторын ачааллын алдагдал	37270.58	
Шинэ	Цахилгаан дамжуулах шугамын алдагдал	82677.61	185208.16
	Трансформаторын хоосон явалтын алдагдал	56707.21	
	Трансформаторын ачааллын алдагдал	45823.34	

IV. ДҮГНЭЛТ

Судалгааны хүрээнд Өмнөд бүсийн цахилгаан түгээх сүлжээний 10 кВ-ын Эмнэлэг болон Ханхонгор фидерүүдийн эрчмийн алдагдлыг бууруулах боломжийг “DIGSILENT PowerFactory” программ ашиглан тооцоолсон ажлын үр дүнд дараах дүгнэлтийг гаргаж байна Үүнд:

- Эмнэлэг фидерийн нийт эрчмийн алдагдал хуучин нөхцөлд 120087.18 кВт, шинэ нөхцөлд 115690.75 кВт болж, 4.1%-иар буурсан.
- Ханхонгор фидерийн нийт эрчмийн алдагдал хуучин нөхцөлд 188390.51 кВт, шинэ нөхцөлд 185208.16 кВт болж, 1.7%-иар буурсан.

Чадлын алдагдлын хувьд:

- Эмнэлэг фидерийн чадлын алдагдал хуучин нөхцөлд 26.15 кВт, шинэ нөхцөлд 27.57 кВт болж 1.42 кВт-аар өссөн ч трансформаторын ачааллын алдагдал 1.76 кВт-аар буурсан.
- Ханхонгор фидерийн чадлын алдагдал хуучин нөхцөлд 37.7 кВт, шинэ нөхцөлд 40.64 кВт болж өссөн ч трансформаторын хоосон явалтын алдагдал 5.16 кВт-аар буурсан.

Аморф трансформатор ашигласнаар төмрийн алдагдал багасаж, эрчим хүчний үр ашиг нэмэгдсэн. СИП-3, СИП-4 маркийн дамжуулагч ашигласнаар цахилгаан дамжуулах шугамын найдвартай байдал сайжирч, гэмтэл гарах эрсдэл буурсан. Судалгааны үр дүнгээс харахад, хуучин тоног төхөөрөмжийг шинэ техник технологиор сольж ашиглах нь эрчим хүчний алдагдлыг бууруулах үр дүнтэй арга болохыг баталж байна. Иймд дараах эрчим хүч хэмнэх арга хэмжээнүүдийг санал болгож байна.

1. Эмнэлэг болон Ханхонгор фидерүүдийн хуучин трансформаторуудыг аморф трансформатораар солих.

2. СИП-3, СИП-4 төрлийн дамжуулагчийг өргөн ашиглах.

3. Цахилгаан дамжуулалтын хяналтыг сайжруулж, эрчим хүчний алдагдлыг тогтмол хэмжих систем нэвтрүүлэх.

4. Дэд станцуудын хүчин чадлыг сайжруулж, хэрэглэгчийн ачаалалд тохируулан шинэчлэх.

Эдгээр арга хэмжээг хэрэгжүүлснээр цахилгаан түгээх сүлжээний эрчим хүчний үр ашиг дээшилж, алдагдлыг бууруулах боломжтой.

V. АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] https://www.electric.mn/products/61dea15632274f7c8af5951b (Хандалт хийсэн 2025.02.26)

[2] Ш.Гантөмөр, Цахилгаан шугам сүлжээ, систем, Улаанбаатар: Соёмбопринтинг, 2020.

[3] Д.Содномдорж, Цахилгаан шугам сүлжээний чадал, эрчмийн алдагдлыг тодорхойлох арга, Улаанбаатар: ТИС-ийн хэвлэл, 1999

[4] Б.Түмэнбаяр, Төслийн хүрээнд хийгдсэн арга хэмжээнүүд, Улаанбаатар, 2021.

[5] https://www.maliotech.com/mn/news/amorphous-core-transformers-advantages-and-differences (Хандалт хийсэн 2025.03.06)

[6] Ш.Гантөмөр, Цахилгаан дамжуулах агаарын шугам, Улаанбаатар: Соёмбопринтинг, 2011, p. 600.

[7] Л.Золбоо, 10 кВ-ын цахилгаан шугамсүлжээний эрчмийн алдагдлыг аморф трансформатор ашиглан бууруулах судалгаа:Магестирийн ажил, Улаанбаатар, 2021, p. 95.

[8] Ш.Гантөмөр, Цахилгаан шугам сүлжээ, систем, Улаанбаатар, 2020.

ТҮГЭЭХ ЦАХИЛГААН ШУГАМ СҮЛЖЭЭНИЙ ЧАДАЛ, ЭРЧМИЙН АЛДАГДЛЫН ТООЦООНЫ ХАРЬЦУУЛСАН СУДАЛГАА

Эрдэнэ-Очирын ОЮУНТҮЛХҮҮР[1], Онхын ЦОГБАЯР[2]
Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн Сургууль, Цахилгааны инженерийн салбар
**Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: [1]oyuka020319@gmail.com, [2]otsogoo@must.edu.mn*

***Хураангуй*: Улаанбаатар хотын хүн амын өсөлттэй холбоотойгоор суурьшлын бүс өргөжин тэлж цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээ ихсэж байгаа нь түгээх цахилгаан шугам сүлжээний чадал, эрчмийн алдагдал ихсэх үндсэн шалтгаан болж байна. Тус судалгаагаар Баянзүрх дүүргийн Гачуурт Шар хоолой фидерийг сонгон авч алдагдлын судалгааг хийж түүнийг хэрхэн бууруулах талаар авч үзлээ. Тус фидер нь нийт 77.58 км урт агаарын болон кабель цахилгаан дамжуулах шугамтай, 133 хүчний трансформатортай сүлжээ юм. Шар хоолой фидерийн өвлийн их ачааллын тогтсон горимын тооцоог гүйцэтгэхэд фидерийн эхлэл хэсгээр дамжих чадал нь 1621,1 кВт ба нийт чадлын алдагдал нь 126.6 кВт буюу 7.8% алдагдаж байна. Тус алдагдлыг бууруулах хэд хэдэн хувилбар дэвшүүлж харьцуулсан судалгааг хийж хамгийн оновчтой хувилбарыг тодорхойлж эрчим хүчний алдагдлыг бууруулах саналыг дэвшүүлж байна.**

Түлхүүр үг: түгээх цахилгаан шугам сүлжээ, бага оврын нарны цахилгаан үүсгүүр, чадлын алдагдал, эрчмийн алдагдал, эрчим хүчний хэмнэлт

I. УДИРТГАЛ

Цахилгаан эрчим хүч нь эрчим хүчийг алс зайд дамжуулах боломжтой хамгийн үр ашигтай эрчим хүчний нэг хэлбэр билээ. Үүнийг уламжлалт болон шинэчлэгдсэн эрчим хүчний эх үүсвэрүүдээс гарган авч, тохиромжтой байршилд хувирган, өндөр хүчдэлээр алс хол зайд дамжуулж, хэрэглэгчдэд дунд болон бага хүчдэлээр түгээдэг[1]. Цахилгаан эрчим хүчний систем нь ерөнхийдөө үйлдвэрлэл, дамжуулалт, түгээлт гэсэн гурван үндсэн хэсгээс бүрдэнэ. Орчин үеийн шинжлэх ухааны үндэслэлтэй судалгаа, тооцоолол, үйлдвэрлэлийн холбоо зэрэг нь хэрхэн бүрэлдэн тогтсон эсэхээс улбаалан системийн найдвартай ажиллагаа хамааралтай байдаг. Нийт системийн алдагдлыг худалдаж авсан болон борлуулсан эрчим хүчний зөрүүгээр тодорхойлдог бөгөөд энэ нь хэрэглэгчдэд цахилгаан эрчим хүчийг хэр үр ашигтай түгээж байгааг илтгэнэ. Системийн алдагдал нь цахилгаан эрчим хүчний төлөвлөлт, үйл ажиллагааны чухал үзүүлэлтүүдийн нэг бөгөөд дамжуулалт ба түгээлтийн алдагдал гэж ангилагддаг. Цахилгаан эрчим хүч нь үүсгэгчээс өндөр ба нам хүчдэлийн цахилгаан дамжуулах агаарын болон кабель шугам, өсгөх ба бууруулах трансформатораар дамжуулан хэрэглэгчдэд түгээж хүргэх явцад өөрийнхөө тодорхой хэсгийг зарцуулан алдаж байдаг онцгой бүгээгдэхүүн юм. Энэхүү цахилгаан эрчим хүчийг дамжуулах үед зарцуулж байгаа эрчим хүчийг цахилгаан шугам сүлжээний эрчмийн алдагдал гэж нэрлэдэг[2].

Цахилгаан шугам сүлжээнд эрчмийн алдагдал байх нь зайлшгүй бөгөөд харин их байх уу, бага байх уу гэдэгт асуудлын гол зангилаа нь байгаа юм. Энэ нэр нь мэргэжлийн бус хүмүүсийн дунд цахилгаан эрчим хүчийг тээвэрлэн дамжуулах үйл ажиллагааг автомашинаар бүтээгдэхүүн (үр тариа, гурил будаа, нүүрс гэх мэт) зөөж тээвэрлэх, дулааныг шугам хоолойгоор дамжуулахтай ижил гэж ойлгон алдагдал их үед зохион байгуулалт, техник технологи муугаас болсон гэж үзэх тохиолдол байдаг[3].

Эдгээр алдагдал нь техникийн болон техникийн бус (худалдааны) алдагдал гэсэн хоёр хэсгээс бүрдэнэ. Нийт системийн алдагдал нь үндсэндээ техникийн дамжуулалтын алдагдал**,** мөн техникийн болон техникийн бус түгээлтийн алдагдал гэсэн бүрэлдэхүүнтэй байдаг. Учир нь дамжуулалтын шатанд техникийн бус алдагдал бага байдаг. Харин түгээлтийн систем нь хэрэглэгчдэд цахилгаан эрчим хүчийг хүргэх үүрэгтэй бөгөөд олон тооны хуваарилах трансформаторууд, фидерүүд, үйлчилгээний шугамуудаас бүрдэнэ. Түгээлтийн алдагдал нь техникийн болон техникийн бус (худалдааны) алдагдал гэсэн хоёр хэсгээс бүрдэх бөгөөд эдгээрийг хамтад нь нийт түгээлтийн алдагдал гэж нэрлэдэг [4]. Энэхүү судалгааны зорилго нь Улаанбаатар хотын Баянзүрх дүүргийн Шархоолой хэмээх газрын техникийн алдагдлыг шинжлэх явдал юм. Шинжилгээг тооцооллын арга болон Powerfactory программыг ашиглан гүйцэтгэж, хэмжилтийн өгөгдөлтэй харьцуулан техникийн болон техникийн бус алдагдлыг үнэлэх замаар алдагдлыг бууруулах хамгийн тохиромжтой арга замыг тодорхойлох зорилготой бөгөөд нарны цэнэг хураагуур суулгасны дараах горимын тооцоог хийж харьцуулах зорилготой.

Цахилгаан систем дэх техникийн алдагдлыг янз бүрийн аргаар тодорхойлж болно. Цахилгааны техникийн алдагдал нь цахилгаан гүйдэл эсэргүүцэлтэй материалыг дамжин өнгөрөх болон шугам, трансформатор, моторт орох энергийн хэмжээгээр үүсдэг. Гэсэн хэдий ч эсэргүүцэлтэй материал дахь алдагдлыг бууруулах боломжтой юм.

II. СУДАЛГААНЫ ОБЪЕКТ, ТООЦООНЫ АРГАЧЛАЛ

Баянзүрх дүүргийн 10 кВ-ын Гачуурт дэд станцын Шархоолой фидерийг судалгааны объект болгон

сонгон авсан ба нийт 133 дэд станц бүхий 77.58 км урт шугамтай, 2015.47 кВА ачаалалтай, 281 салаатай болно. Ачааллын урсгалын шинжилгээг тогтвортой төлөвт байгаа эрчим хүчний системийг шинжлэх замаар гүйцэтгэв. Тогтсон горимын тооцоог Digsilent Powerfactory программ хангамжийг ашиглан загварчлав.

Цахилгаан дамжуулах шугамын параметрийг тодорхойлох. Цахилгаан дамжуулах шугамыг горимын тооцоонд орлуулгын схемээр төлөөлүүлэн авч үздэг. Шугамын параметрүүд шугамын уртын дагуу тархсан байрлалтай байдаг боловч 220кВ-оос бага хүчдэлтэй шугамын хувьд эдгээр параметрүүдийг төвлөрсөн байдлаар авч үздэг.

Практикт ихэвчлэн “П” хэлбэрийн схемийг ашигладаг. [5]

Хөнгөн цагаан болон гант хөнгөн цагааны утасны эсэргүүцлийг доорх томьёогоор болон лавлахын тусламжтайгаар олно.

$$r_{0+20°C} = \frac{1000}{y \cdot F} = \frac{31.5}{F} \qquad (1)$$

Үүнд: F -хөнгөн цагаан утасны хөндлөн огтлол (гант хөнгөн цагаан утасны хувьд хөнгөн цагаан хэсгийн хөндлөн огтлол), мм^2; y-хөнгөн цагааны хувийн цахилгаан дамжууламж.

Орчны температур $+20°C$ -ээс өөр үед дамжуулагч утасны эсэргүүцлийн хэмжээг тодорхойлохдоо дараах томьёог ашиглана. [7]

$$r_0 = r_0^{+20^0 C} \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\mathrm{t}^0 - 20 + 8,3 \cdot \delta_I^{\,2} \cdot \sqrt{\frac{F_{x/o}}{300}}) \right] \qquad (2)$$

Үүнд: $\alpha = 0.004$

Шугамын урт өгөгдсөн үед бодит эсэргүүцлийг дараах томьёогоор

$$R = r_0 \cdot L \qquad (3)$$

гэж тодорхойлох бөгөөд L урттай n шугам зэрэгцээ ажиллаж байвал

$$R_n = \frac{r_0 \cdot L}{n} \qquad (4)$$

Цахилгаан дамжуулах агаарын шугам ба кабель шугамд хуурмаг эсэргүүцэл нь ачааллын гүйдлийн улмаас үүсэх өөрийн индукцлэлийн ЦХХ, бусад фазын ачааллын гүйдлийн улмаас үүсэх харилцан индукцлэлийн ЦХХ-ний улмаас үүсдэг симметр ажлын горимын үед геометр дундаж утгыг ашиглаж болдог. Дамжуулагчийн байрлалд ямар ч тохиолдолд геометр дундаж зайг

$$D_{cp} = \sqrt[3]{D_{ab} D_{bc} \cdot D_{ac}} \qquad (5)$$

гэж тодорхойлж болно. Үүнд: D_{ab}, D_{bc}, D_{bc} -А, В, С фазын дамжуулагчийн хоорондох зай. Өнцөг давтамж болон дээр тодорхойлсон нийлбэр индукцлэлийн тусламжтайгаар нэг км урттай гант хөнгөнцагаан дамжуулагчийн хуурмаг эсэргүүцлийг дараах илэрхийллээр тодорхойлж болно.

$$X_0 = 0.1445 \cdot \log \frac{2D_{cp}}{d} + 0.0157\,\mu \qquad (6)$$

Үүнд: μ -дамжуулагчийн соронзон нэвтрэх чадвар, d-дамжуулагчийн диаметр болно.

Шугамын хуурмаг эсэргүүцлийг

$$X = x_0 \cdot L_y \qquad (7)$$

L_y урттай n шугам зэрэгцээ ажиллаж байвал дараах байдлаар олно.

$$X_n = \frac{x_0 \cdot L_y}{n} \qquad (8)$$

Тогтсон горимын тооцоонд хүрээний гүйдлийн тэгшитгэлийг байгуулахад битүү хүрээнд харгалзах том N матриц байгуулах шаардлагатай байдаг. Энэ матрицыг нийлмэл сүлжээний хувьд байгуулах хүндрэлтэй тул горимын параметрийг тодорхойлохын тулд нэмэлт тооцоо шаардлагатай ийм учир зангилааны хүчдэлийг олоход ашигладаг [6].

Тогтсон горимын тооцоог уламжлалт. орчин үеийн гэж ангилдаг.

1. Уламжлалт аргууд нь гараар тооцоо гүйцэтгэхэд зориулагдсан ихээхэн хүч хөдөлмөр. цаг хугацаа зарцуулдаг. Уламжлалт аргаар тооцоо гүйцэтгэхэд 4 арга байдаг.
   - Уламжлалт чадлын балансын арга:
   - Тойрог сүлжээний горимын тооцоог гүйцэтгэх арга;
   - Хоёр талын үүсгэгчтэй сүлжээний горимын тооцооны арга;
   - Эквивалент хувиргалтын аргууд байдаг.
2. Орчин үеийн аргууд:
   - Шугаман загвараар бодох арга;
   - Шугаман бус загвараар бодох арга.

Эрчмийн алдагдал нь шинж чанарын хувьд ялгаатай хэсгүүдээс тогтдог. Үүнд:

1. Цахилгаан шугам сүлжээний элементүүд дээр гарах “Цэвэр физик” шинж чанартай эрчмийн алдагдал.
2. Дэд станцын дотоод хэрэгцээнд суурилагдсан тоног төхөөрөмжийн ажиллагаанд зарцуулагдсан эрчмийн алдагдал.
3. Дамжуулж байгаа цахилгаан эрчим хүчийг тоолох, хэмжилт тоноглол дээр гарах эрчмийн алдагдал.
4. Цахилгаан тоолуурын заалтын дагуу гарсан цахилгааны төлбөрийг дутуу төлөх, эсвэл огт төлөхгүй байх, цахилгаан эрчим хүчний хулгайн алдагдал зэрэг болно.

Шугам- $\Delta P_{\Sigma}^{Ш}$ трансформаторын ороомог $\Delta P_{\Sigma}^{ТОЛ}$ трансформаторын ган- $\Delta P_{\Sigma}^{ГАН}$ дээрх алдагдал мөн

кроны ΔP_{Σ}^{KOP} алдагдлыг олж улмаар нийт алдагдлыг олно.

$$\Delta P_{\Sigma}^{Ш} = \frac{\Delta P_{\Sigma}^{Ш}}{\Delta P_{\Sigma}} \cdot 100 \quad (9)$$

$$\Delta P_{\Sigma}^{ТОЛ} = \frac{\Delta P_{\Sigma}^{ТОЛ}}{\Delta P_{\Sigma}} \cdot 100 \quad (10)$$

$$\Delta P_{\Sigma}^{xx} = \frac{\Delta P_{\Sigma}^{xx}}{\Delta P_{\Sigma}} \cdot 100 \quad (11)$$

Эрчмийн алдагдлын тооцоог доорх дараалын дагуу гүйцэтгэнэ.

$$\Delta W \sum = \Delta W_{\Sigma}^{Ш} + \Delta W_{\Sigma}^{ТО} + \Delta W_{\Sigma}^{XX} \quad (12)$$

Эрчмийн алдагдлыг тодорхойлохын тулд ЦШС- ний толгойн хэсгээр дамжсан эрчим хүч:

$$W_{ТОЛ} = P_{ТОЛ} \cdot T_{нб}$$

ЦШС-ний нийлбэр эрчмийн алдагдал шугам, трансформаторын ороомог, трансформаторын хоосон явалтын эрчмийн алдагдал гэсэн хэлбэрээр тооцно.

$$\Delta W_{\Sigma}^{Ш} = \Delta P_{\Sigma}^{Ш} \cdot \tau \quad (13)$$

$$\Delta W_{\Sigma}^{ТО} = \Delta P_{\Sigma}^{ТО} \cdot \tau \quad (14)$$

$$\Delta W_{\Sigma}^{XX} = \Delta P_{\Sigma}^{XX} \cdot \tau \quad (15)$$

Эрчим хүчний нийлбэр алдагдлыг дараах томьёогоор олно.

$$\Delta W_{\Sigma} = \Delta W_{\Sigma}^{Ш} + \Delta W_{\Sigma}^{ТО} + \Delta W_{\Sigma}^{XX} \quad (16)$$

Эрчмийн алдагдлын толгойн хэсгээр дамжуулсан эрчим хүчтэй харьцуулан алдагдлын хувийг олно.

$$\Delta W_{\Sigma\%} = \frac{\Delta W_{\Sigma}}{W_{ТОЛ}} \cdot 100\% \quad (17)$$

Эрчмийн алдагдлыг тодорхойлоход алдагдлын хугацаа болон эрчмийн алдагдлын тооцоо гэсэн хэсгүүдийг гүйцэтгэнэ.

Хамгийн их ачааллыг ашиглах хугацаа:

$$T_{нб} = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_i \cdot t_i}{P_{\max}} \quad (18)$$

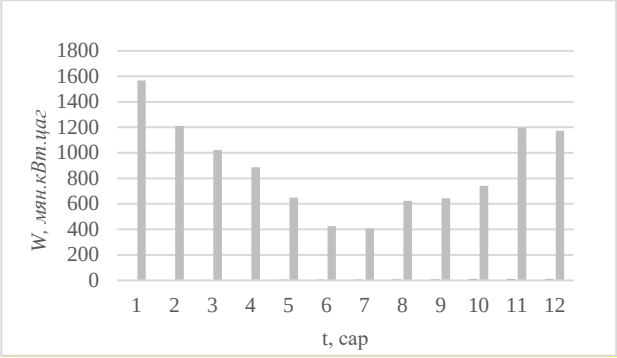
Их алдагдлын хугацааг:

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_1^2 \cdot t_i}{P_{\max^2}} \quad (19)$$

III. ТҮГЭЭХ ЦАХИЛГААН ШУГАМ СҮЛЖЭЭНИЙ ЧАДАЛ, ЭРЧМИЙН АЛДАГДЛЫН СУДАЛГАА

Шар хоолой фидерийн эрчмийн алдагдлын тооцоог гүйцэтгэхийн өмнө сар бүрийн дундаж чадлын утгаар жилийн ачааллын графикийг байгуулснаар их ачааллыг ашиглах хугацаа $T_{нб}$ болон их алдагдлын хугацаа τ -г тус тус тодорхойлсон.

10 кВ-ын Шар хоолой фидерийн сар тус бүрээр жилд толгойн хэсгээр дамжсан цахилгаан эрчим хүчийг 1-р зурагт харуулав.



1-р зураг. Фидерийн 12 сард борлуулсан цахилгаан эрчим хүч, кВт.цаг

Трансформаторын ачаалалтын хувь нь 100% - аас бага байх ёстой ба хэрэв үүнээс их тохиолдолд тухайн трансформатор нь хэт ачаалалд орж байна гэсэн үг мөн 30%-аас бага байвал дутуу ачааллаж байна гэсэн үг юм. Шугамын гүйдлийн нягт нь 2.1 А/мм^2-аас бага байх ёстой. Трансформатор тус бүрийн хүчдэлийн утга номинал хүчдэлийн утгаас хэдэн хувиар их болон бага байгааг тооцоолох ба Монгол улсын эрчим хүчний системийн нэгдсэн дүрэмд 5 % гэж заасан байдаг.

Шар хоолой фидерийн горимын тооцооны үр дүнгээс үзэхэд фидерийн трансформаторуудын ачаалал хэтэрхий бага байна. Гэвч толгой хэсгээс хамгийн хол зайд байрлах трансформаторын хүчдэл өндөр талдаа 9,56 кВ байна. Үүнээс үзэхэд фидерийн горимын найдвартай ажиллагаа болон чанар хангалттай байна. Шар хоолой фидерийг хуваах өөр дэд станцаас тэжээх юм бол найдваржилт илүү сайжрах болно. Үүнийг батлахын тулд цаашдаа ачаалал нэмэгдэнэ гэж үзээд трансформаторуудын одоогийн ачааллыг 15 хувиар нэмэгдүүлж тооцоо хийж үзлээ. Шар хоолой фидерийг ачаалал нэмэгдсэний дараах үр дүнгээс харвал трансформаторын хүчдэлийн хазайлт нам талдаа 13.25% байна. Тиймээс Шар хоолой фидерийн горимыг тогтвортой стандарт хэмжээнд байлгахын тулд фидерийг хуваах судалгааг хийв. Фидерийг хуваахын тулд Гацуурт дэд станцаас өөр Шар хоолой фидерийн ойролцоо дэд станц байхгүй тул шинээр 35/10 кВ-ын дэд станц барьж түүнийгээ Гачуурт дэд станцаас 35 кВ-ийн 1 хэлхээт шугам татаж холбох хувилбарыг боловсруулав. Шар хоолой фидерийг 3 хэсэг болгон хуваах тус бүрийг А, В, С фидер гэж нэрлэв. Мөн тооцооны үр дүнг харуулахдаа харьцуулалт хийхэд хялбар байлгах үүднээс нэгтгэн графикаар 2-р зурагт фидерүүдийн толгойн чадлын урсгал, 3-р зурагт фидерүүдийн нийт бодит чадлын

алдагдлыг 4-р зурагт бодит чадлын алдагдлыг хувиар илэрхийлснийг харууллаа. Үүнд:

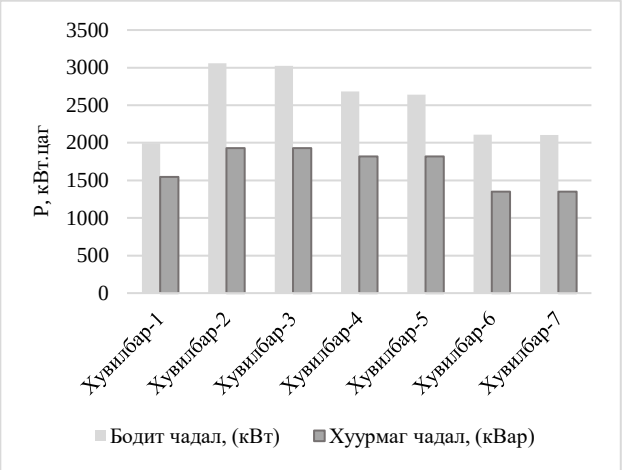
Хувилбар-1 ачааллыг 15%-иар нэмэгдүүлсэн үед, Хувилбар-2 А фидерийн горимын тооцоо, Хувилбар-3 А фидерийн дамжуулагч сольсон үеийн горимын тооцоо,

Хувилбар-4 В фидерийн горимын тооцоо,

Хувилбар-5 В фидерийн дамжуулагч сольсон үеийн горимын тооцоо,

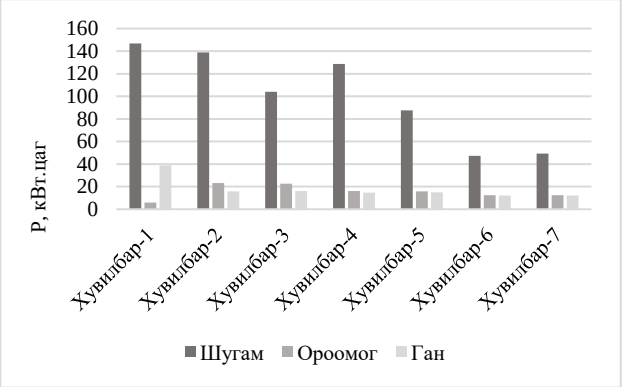
Хувилбар-6 С фидерийн горимын тооцоо,

Хувилбар-7 С фидерийн дамжуулагч сольсон үеийн горимын тооцоог үзүүлэв.

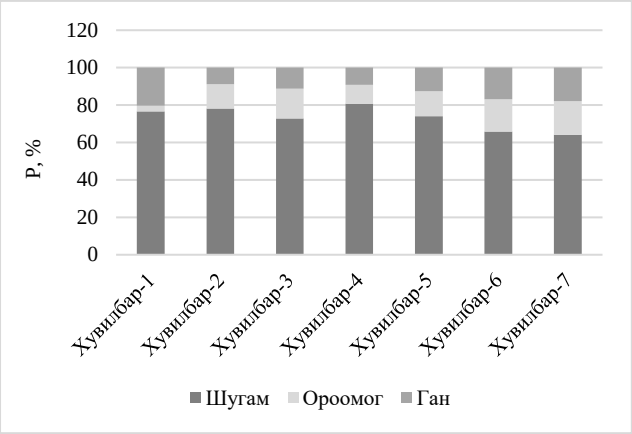


2-р зураг. Фидерүүдийн толгойн чадлын урсгал

Шар хоолой фидерийн чадлын алдагдлыг тооцож үзэхэд дараах үр дүн гарлаа.

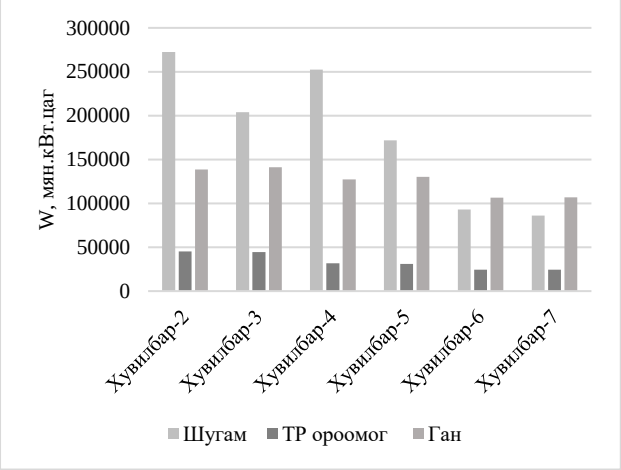


3-р зураг. Фидерүүдийн нийт бодит чадлын алдагдал

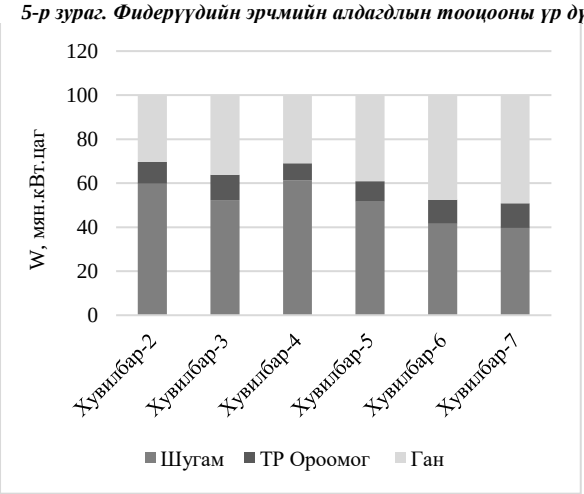


4-р зураг. Фидерүүдийн нийт бодит чадлын алдагдал хувиар, %

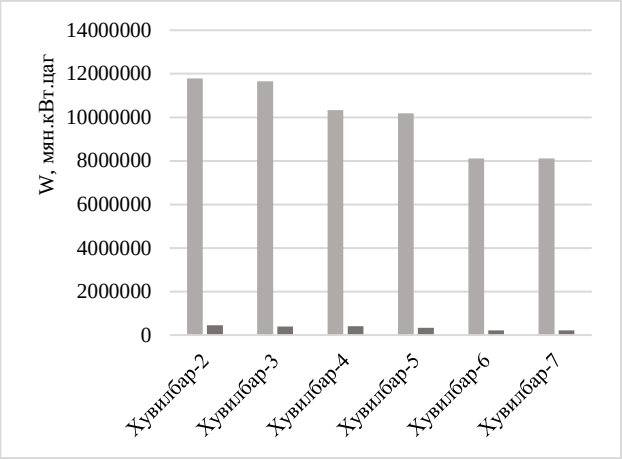
Шар хоолой фидерийн эрчмийн алдагдлыг тодорхойлоход трансформаторын ган дээрх буюу хоосон явалтын алдагдал хамгийн их хувийг эзэлж байна. 5-р зурагт Фидерүүдийн эрчмийн алдагдлыг тооцсоныг, зураг 6-р зурагт Эрчмийн алдагдлын тооцооны үр дүнг хувиар илэрхийлснийг, 7-р зураг. Үүсгэгч талаас гарсан эрчим хүч ба нийт эрчмийн алдагдлыг харуулав.



5-р зураг. Фидерүүдийн эрчмийн алдагдлын тооцооны үр дүн



6-р зураг. Фидерүүдийн эрчмийн алдагдлын тооцооны үр дүн хувиар, (%)



7-р зураг. Үүсгэгч талаас гарсан эрчим хүч ба нийт эрчмийн алдагдал

"А, В, С" фидерүүдийн нийт чадлын алдагдлын тооцоогоор цахилгаан дамжуулах шугам, трансформаторын ороомог, трансформаторын ган дээр үүсэх чадлын алдагдлуудыг тодорхойлж үзэв. Энэхүү тооцоонд шинээр барьсан 35 кВ-ийн шугамын алдагдлыг тооцоогүй болно.

А, В, С фидерүүдийн нийт эрчмийн алдагдлыг тодорхойлоход алдагдлын хугацаа болон эрчмийн алдагдлын тооцоо гэсэн хэсгүүдийг гүйцэтгэв.

байгаа бөгөөд дээрх алдагдлууд нь үүсгэгч талаас гарсан нийт эрчим (29930885 кВт.цаг) нийт алдагдал нь 3.14% байна. Шархоолой фидерт нарны цэнэг хураагуур тавьсны дараах горимын тооцоог хийв.

НАРНЫ ПАНЕЛ СУУЛГАСНЫ ДАРААХ ЧАДЛЫН АЛДАГДАЛЫН ТООЦОО

1-Р ХҮСНЭГТ

Фидерийн толгойн чадлын урсгал		Бодит чадлын алдагдал, (кВт)			Чадлын алдагдал хувиар,(%)		
Бодит чадал,(кВт)	Хуурмаг чадал,(кВар)	Шугам	Ороомог	Ган	Шугам	Ороомог	Ган
1855,6	1558,1	124,9	6,1	42,3	72,07	3,52	24,41

НАРНЫ ПАНЕЛ СУУЛГАСНЫ ДАРААХ ГҮЙДЛИЙН НЯГТ, ТРАНСФОРМАТОРЫН ХҮЧДЭЛИЙН ХАЗАЙЛТЫН ҮР ДҮН

2-Р ХҮСНЭГТ

Трансформаторын хүчдэлийн хазайлт хамгийн их, кВ		Трансформаторын хүчдэлийн хазайлт хамгийн их, %		Фидерийн салаануудын дамжуулагчийн гүйдлийн нягт хамгийн их, А/мм
Өндөр	Нам	Өндөр	Нам	
9,10	-8,980	0,38	-4,64	2,41

НАРНЫ ПАНЕЛ СУУЛГАСНЫ ДАМЖУУЛАГЧ СОЛЬСНЫ ДАРААХ ЧАДЛЫН АЛДАГДАЛЫН ТООЦОО

3-Р ХҮСНЭГТ

Фидерийн толгойн чадлын урсгал		Бодит чадлын алдагдал, (кВт)			Чадлын алдагдал хувиар,(%)		
Бодит чадал,(кВт)	Хуурмаг чадал,(кВар)	Шугам	Ороомог	Ган	Шугам	Ороомог	Ган
1852,6	1558,5	121,7	6,1	42,4	71,51	3,58	24,91

НАРНЫ ПАНЕЛ СУУЛГАЖ ДАМЖУУЛАГЧ СОЛЬСНЫ ДАРААХ ГҮЙДЛИЙН НЯГТ, ТРАНСФОРМАТОРЫН ХҮЧДЭЛИЙН ХАЗАЙЛТЫН ҮР ДҮН

4-Р ХҮСНЭГТ

Трансформаторын хүчдэлийн хазайлт хамгийн их ,(кВ)		Трансформаторын хүчдэлийн хазайлт хамгийн их ,(%)		Фидерийн салаануудын дамжуулагчийн гүйдлийн нягт хамгийн их, А/мм
Өндөр	Нам	Өндөр	Нам	
9,10	0,382	-8,85	-4,50	1,96 А/мм^2

Дээрх тооцооллыг хийж гүйцэтгэсний дараагаар харьцуулалт хийхэд хялбар болгох үүднээс гурван хувилбарын эрчмийн алдагдал, чадлын алдагдлын тооцооны үр дүнг хүснэгтээр харуулав. 5-р хүснэгтэд хувилбаруудын чадлын алдагдлын бүтэц үр дүнг, 6-р хүснэгтэд хувилбаруудын эрчмийн алдагдлын бүтэц үр дүнг тус бүр харуулав. Хувилбар-1 Шархоолой фидерийн өвлийн их ачааллыг 15%-иар нэмэгдүүлсэн тооцоо, Хувилбар-2 А, В, С гурван фидерт хуваарь дамжуулагч сольсны дараах тооцоо, Хувилбар-3 Нарны зайн хураагуур тавьж дамжуулагч сольсны дараах тооцооны үр дүн багтсан болно.

ХУВИЛБАРУУДЫН ЧАДЛЫН АЛДАГДЛЫН БҮТЭЦ, ҮР ДҮН

5-Р ХҮСНЭГТ

Хувилбар	Чадлын алдагдал							
	$\Delta P_{Ш}$, кВт	$\Delta P_{Т.О}$, кВт	$\Delta P_{Х.Я}$, кВт	ΔP_{Σ}, кВт	$\Delta P_{Ш}$, %	$\Delta P_{Т.О}$, %	$\Delta P_{Х.Я}$, %	ΔP_{Σ}, %
Хувилбар-1	80.68	4.54	41.37	126.59	63.73	3.59	32.68	7.85
Хувилбар-2	235.3	50.86	43.21	329.4	71.44	15.44	13.12	4.24
Хувилбар-3	121.7	6.1	42.4	170.2	71.51	3.58	24.91	3.43

ХУВИЛБАРУУДЫН ЭРЧМИЙН АЛДАГДЛЫН БҮТЭЦ, ҮР ДҮН

6-Р ХҮСНЭГТ

Хувилбар	Эрчмийн алдагдал							
	$\Delta W_{Ш}$, кВт.цаг	$\Delta W_{Т.О}$, кВт.цаг	$\Delta W_{Х.Я}$, кВт.цаг	ΔW_{Σ}, кВт.цаг	$\Delta W_{Ш}$, %	$\Delta W_{Т.О}$, %	$\Delta W_{Х.Я}$, %	ΔW_{Σ}, %
Хувилбар-1	158266.73	8905.93	362401.2	529573.3	29.89	1.68	68.43	8.52
Хувилбар-2	461639	99770.33	378519.4	939928.8	49.11	10.62	40.27	3.14
Хувилбар-3	238739.7	11966.2	83174.7	333934.57	71.51	3.58	24.91	4.68

35 кВ-ын дэд станц барихад шаардах тоноглолын жагсаалтыг оруулан жишиг үнийн тооцоог хийж гүйцэтгэсэн.

Нийт хөрөнгө оруулалт- 1951,2 сая.төгрөг Дэд станцын тоноглолын тээврийн зардал ба угсралтын зардлыг тоног төхөөрөмжийн зардлын 10% -иар тооцож авна. Дэд станцын тогтмол зардлыг 35/10 кВ-ын дэд станцын өндөр хүчдэлийн хуваарилах байгууламжийн схем 4Н байхад 798000 мян.төг гэж авлаа. Дэд станцын барилгын зардлыг дээр тодорхойлсон зардлуудын нийлбэр зардлаас 23%-иар бодож тооцоог хийхэд 592сая.төг болно.

Нийт зардал-3870.44 сая.төг

Мөн 30.8 кВт чадалтай нарны цахилгаан хангамжийн (hybrid) системийн үнийн саналыг авсан. Үүний дараа нийт зардал 85736.416 мян.төг болсон ба нарны цахилгаан үүсгүүрээс үйлдвэрлэсэн цахилгаан эрчим хүчийг борлуулах үнийг 130.29 төг/кВт.цаг гэж үзвэл жилийн борлуулалтын орлогыг тооцож нийт ашгийг олоход 45607.1мян.төг байна.

Цэвэр ашиг: Ашиггүй ажиллаж байгаа тул татвар төлөхгүй.

ДҮГНЭЛТ

Тус судалгааны үр дүнгээс үзэхэд трансформаторын хүчдэлийн хазайлт стандарт хэмжээнээс их байгаа тул фидерийн горимын найдвартай ажиллагаа, эрчим хүчний чанарыг сайжруулах зорилгоор фидерийг гурван хэсэгт хуваав. Эхний хэсэг болох А фидерийг одоогийн тэжээж байгаа Гачуурт дэд станцаас харин В, С фидерүүдийн ойролцоо дэд станц байхгүй тул шинээр 35/10 кВ-ын дэд станц барьж түүнийгээ Гачуурт дэд станцаас 35 кВ-ын нэг хэлхээт АС-70/11 маркийн дамжуулагчтай шугамаар тэжээн тооцоог гүйцэтгэв. А, В, С фидерүүдийн чадварыг шалгах зорилгоор трансформаторуудын ачааллыг 40-50% хүртэл нэмэгдүүлж ачаалахад гурван фидерийн хамгийн их хүчдэлийн хазайлт -6,98% байв. Харин фидерүүдийн гол дамжуулагчийн гүйдлийн нягт 2,1 А/мм^2–аас их байгаа учраас дамжуулагчийн хөндлөн огтлолыг нэмэгдүүлж тооцоог гүйцэтгэв. А, В, С фидерүүдийн нийт чадлын алдагдал 4,24%, нийт эрчмийн алдагдал 3,14% болж буурсан байна. Шар хоолой фидерийг хуваасаар горимын нэвтрүүлэх чадвар сайжран чадлын алдагдал, эрчмийн алдагдал мэдэгдэхүйц хэмжээгээр буурсан хэдий ч эдийн засгийн хувьд зардал хэт өндөр байгаа тул фидерийг хуваахгүйгээр хэрэглэгчид нь бага оврын нарны цахилгаан үүсгүүр, цэнэг хураагуурtай өдөр нь нараар цэнэг хураагуурaа цэнэглээд орой нь оргил ачааллын үед сүлжээнд оролцоно гэж үзээд тооцоог дахин гүйцэтгэв. Фидерийн төгсгөл хэсэгт 30 кВт-ын нарны панелийг 4 ширхэг байрлуулж гүйдлийн нягт 2,1 А/мм^2-аас их дамжуулагчдыг сольж трансформатор бүрийн хүчдэл тохируулгыг хийн тооцоог давтан гүйцэтгэхэд трансформаторын өндөр талын хүчдэлийн хазайлт -8,85%, нам талын хүчдэлийн хазайлт -4,5%, хамгийн их дамжуулагчийн гүйдлийн нягт 1,96 А/мм^2 байна. Шар хоолой фидер нь цаашдаа ачааллын өсөлт бага байвал ирэх жилүүдэд фидерийг хуваахгүйгээр хэрэглэгчид нарны панель байрлуулж сүлжээний ачааллыг хөнгөвчилж өгвөл горимыг стандарт хэмжээнд барьж болохоор харагдаж байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] MUNGKUNG, Narong; GOMRAT, Nittaya; ARUNRUNGRUSMI, Somchai; POONTHONG, Wittawat; SONGRUK, Apidat; NILWHUT, Siriwhut; Toshifumi YUJI; ANUNTAHIRUNRAT, Kongsak; WONGCHAROEN, Saktanong, Calculation and Prediction of Technical Losses and Line Feeder Size Effect on Distribution Line Losses using PSS/Adept Program AS A Case Study- Przegląd Elektrotechniczny, 2021, Vol 97, Issue 12, p23

[2] MUNGKUNG, N., GOMURUT, N., TANITTEERAPAN, T., ARUNRUNGRUSMI, S., CHAOKUMNERD, W., AND TOSHIFUMI, (2009). Analysis of technical loss in distribution line system, Proceedings of the 8th WSEAS International Conference on Telecommunications and Informatics, 26-30

[3] Reducing Technical and Non-Technical Losses in the Power Sector, Background Paper for the World Bank Group Energy Sector Strategy, July 2009

[4] Sh. Gantumur Result of Calculation for the Energy Losses of 6-0.4 kV Electrical Network in the Erdenet Factory,https://doi.org/10.1109/IFOST.2006.312244

[5] Sh. Gantumur Result of Calculation for the Energy Losses of 6-0.4 kV Electrical Network in the Erdenet Factory,https://doi.org/10.1109/IFOST.2006.312244

[6] Ш.Гантөмөр, Цахилгаан шугам сүлжээ, систем

ХАЯГДАЛ ДУЛААН АШИГЛАН ЦАХИЛГААН ЭРЧИМ ХҮЧ ҮЙЛДВЭРЛЭХ WHRPG СИСТЕМИЙН СУДАЛГАА

Пүрэвжавын ЭРХЭМТӨР[1], Сүхбатын ЭНХЗУЛ[2], Хүрэлсүхийн БИЛГҮҮНБАТ[3], Раднаагийн ЦЭРЭНСАМБУУ[4], Сандаг-Очирын БААТАРЗУЛ[5]
Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Цахилгааны инженерийн салбар
**Холбогдох зохиогчийн и-мэйл хаяг: sukhbatenkhzul10@gmail.com, erkhemtur@must.edu.mn*

***Хураангуй*: Хаягдал дулаанаас цахилгаан эрчим хүч гарган авах WHRPG систем нь цементийн үйлдвэрийн эргэлтэт зуухнаас ялгарч буй хаягдал халуун хийг ашиглан цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэх технологи юм. Энэхүү технологийг нэвтрүүлснээр үйлдвэрлэлийн зардлыг бууруулах, эрчим хүчний үр ашгийг нэмэгдүүлэх, агаарын бохирдол болон хүлэмжийн хийн ялгарлыг бууруулах боломжтой ба ингэснээр дэлхийн дулаарлыг сааруулахад хувь нэмэр оруулна.**

Түлхүүр үг: Хаягдал дулаан, WHRPG систем, цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэх

I. УДИРТГАЛ

Дорноговь аймгийн Өргөн суманд байрлах шохойн чулууны ил уурхай, цемент үйлдвэрлэх иж бүрэн 2 шугам, технологийн явцаас гарах хаягдал дулааныг дахин боловсруулж цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэх WHR системийг нэвтрүүлж байна. Тус систем нь урьдчилан халаагч болон клинкерийн хөргүүрээс гарах 350-450^{0}C хэмтэй хаягдал дулааныг эрчим хүч болгон хувиргах олон улсад хүлээн зөвшөөрөгдсөн Ренкин Циклийг ашигладаг технологи юм [1].

II. СУДАЛГААНЫ ХЭСЭГ

ЭРЧИМ ХҮЧ ҮЙЛДВЭРЛЭХ ТЕХНОЛОГИ

Хаягдал дулааныг ашиглан цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэх WHRPG технологи нь 1960-иад оны сүүлчээр Европ, АНУ-д хөгжиж эхэлсэн ба 1970-аад оны дунд үеэс үйлдвэрүүд ашиглаж эхэлсэн. 1980-аад оны эхэн үеэс хамгийн өргөн хэрэглээ болж, өдийг хүртэл өргөн дэлгэрсэн технологи юм [2, 3].

1. Япон улсын туршлага

Япон улс нь WHR технологийг хөгжүүлэхэд тэргүүлэгч улс юм. 1973 оны газрын тосны хямралаас хойш Японы Засгийн газар эрчим хүчний хэрэглээнд илүү анхаарал хандуулж, хаягдал дулааны нөхөн сэргээх эрчим хүч үйлдвэрлэх системийг дэмжих бодлого баримталсан. 1981 онд Японы нэгэн цементийн үйлдвэр анх 2*1320 кВт хүчин чадалтай хаягдал дулааны генератор суурилуулж ажиллуулсан.

1989 он гэхэд Японы 46-16 үйлдвэр нь WHR технологийг суурилуулсан бөгөөд энэ нь улсын хэмжээнд цементийн салбарын цахилгаан хэрэглээний 30%-ийг хангаж байна.

2. АНУ-ын туршлага

1973-1978 оны хооронд АНУ-ын нэгэн цементийн үйлдвэр WHR технологийг суурилуулж байсан ба 5000-12500 кВт байв.

1980 оны 12-р сар гэхэд АНУ-ын цементийн үйлдвэрүүдэд хаягдал дулаанаас үйлдвэрлэсэн цахилгаан жилд 40 тэрбум кВт/ц хүрсэн байв.

WHR системийн үр ашгийг тооцоолох томьёо:

1. Дулааны үр ашиг

$$n_{th} = \frac{P_{el}}{Q_{fluid}} \quad (1)$$

P_{el}- *Генераторoос үйлдвэрлэсэн цахилгаан*
Q_{fluid} *-Ажлын шингэн хүлээн авсан нийт дулааны хэмжээ*

2. Дулааны солилцооны үр ашиг

$$n_{HEx} = \frac{Q_{fluid}}{Q_{HS}} \quad (2)$$

Q_{HS} – Хаягдал дулааны нийт хэмжээ

3. Системийн үр ашиг

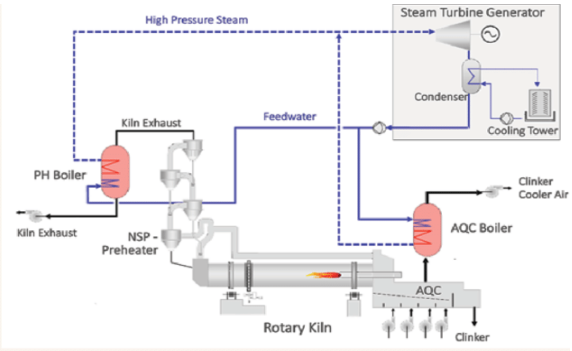
$$n_{system} = n_{HEx} \times n_{th} \quad (3)$$

III. СУДЛАГДСАН БАЙДАЛ

Үйлдвэрийн технологийн процессын үр дүнд бий болдог практик хэрэглээнд ашиглагдаагүй, алдагдаж, үрэгдэж, хүрээлэн буй орчинд хаягддаг дулааны энерги байдаг. Энэхүү хаягдал дулааныг ашиглан тухайн үйлдвэр, аж ахуйн газрыг эрчим хүчний эх үүсвэрээр хангах, эрчим хүчний нийт хэрэглээг бууруулах зорилгоор ашиглах бүрэн боломжтой. Хаягдал хийн дулааныг ашиглах технологи нь орчин үеийн дэвшилтэт технологи бөгөөд металлурги, химийн үйлдвэрүүд мөн цементийн үйлдвэрт ашиглагдаж байна. Цементийн үйлдвэрийн хаягдал халуун хийг ашиглан нийт цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээний тодорхой хувийг хангах нь үйлдвэрийн ашигт үйлийн коэффициентод эергээр нөлөөлнө.

WHR- WASTE HEAT RECOVERY

Цементийн түүхий эд болох шохойн чулууг шатаах процессоос ялгарсан 300-500^{0}С хаягдал халуун хийг ф1600-2500 мм диаметр бүхий хоолойгоор дамжуулан, халах гадаргуугаар тоноглосон бойлерт дулаан солилцуулж ~90-110^{0}С болгосны дараа гадна агаарт хаядаг (1-р зураг).



1-р зураг. WHR систем

Монцемент үйлдвэр WHR технологийг 2016 оноос ашиглаж эхэлсэн, энэ хугацаанд үйлдвэрийн нийт эрчим хүчний дотоод хэрэгцээний 4.72-43.6%-ийг дангаар ханган ажилласан нь нэгдсэн сүлжээнээс авах цахилгаан эрчим хүчийг бууруулсан (2-р зураг).

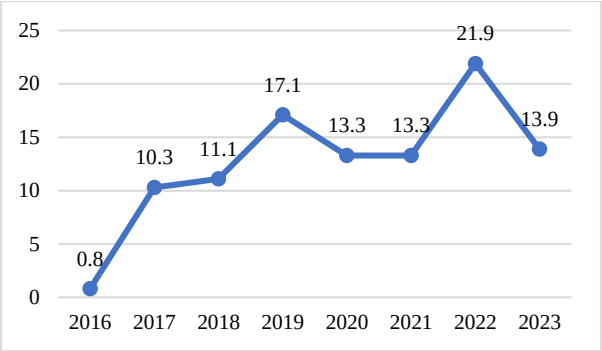
2016-2024 ОНЫ WHR СИСТЕМИЙН ЦЭХ ҮЙЛДВЭРЛЭЛ, ТБЭХС-ЭЭС АВСАН ЭРЧМИЙН ХЭРЭГЛЭЭ

1-Р ХҮСНЭГТ

Он	Үйлдвэрлэсэн ЦЭХ хэмжээ, кВт.ц	ТБЭХС-ээс хэрэглэсэн хэмжээ, кВт.ц
2016	739,200	14,921,214
2017	7,309,680	23,635,953
2018	7,794,760	22,400,796
2019	12,575,640	24,495,339
2020	10,497,680	24,720,220
2021	9,161,760	24,387,693
2022	19,288,380	24,894,767
2023	19,910,120	28,520,217
2024	15,193,320	23,273,316
Нийт	102,410,540	211,249,515

2-р зураг. Цахилгаан эрчим хүчний үйлдвэрлэл ба хэрэглээ (хувиар тооцсон)

2021 онд хөндлөнгийн аудитын дүгнэлтээр Монцемент үйлдвэр хүлэмжийн хийн ялгарлын хэмжээг 71.2 мян.тонноор бууруулсан дүгнэлт гарсан байна (3-р зураг).



3-р зураг. Хүлэмжийн хийн бууралт, мян.тн

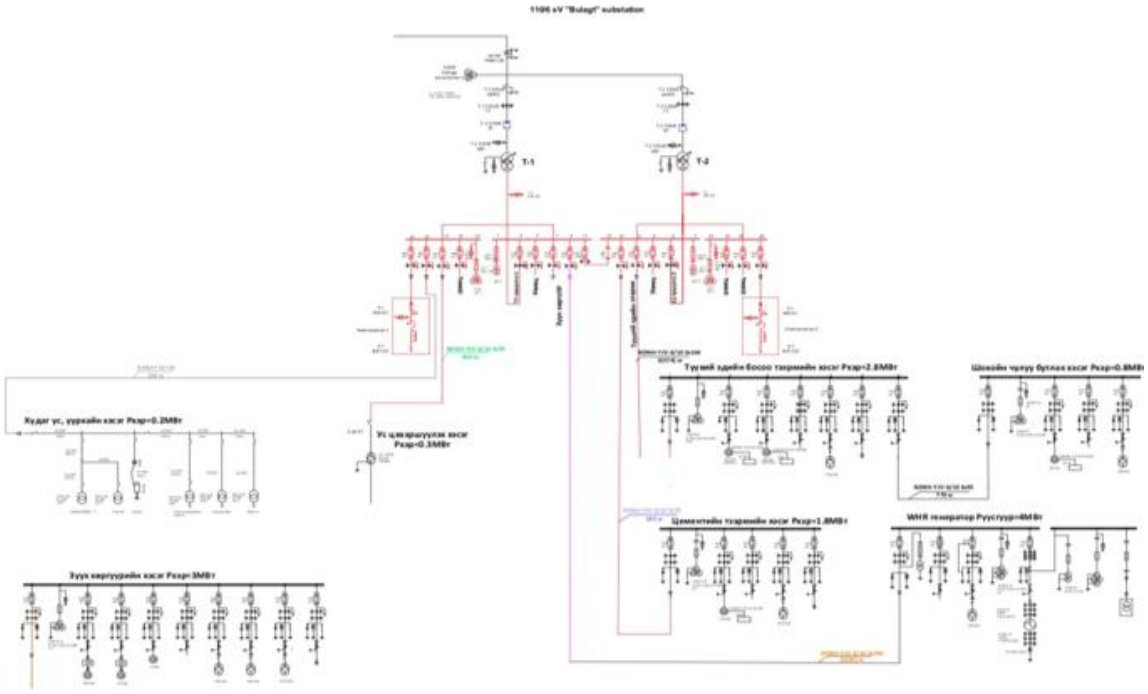
ТОНОГЛОЛ

Бойлер: Эргэх зуухны эхлэл болон төгсгөл хэсгээс гарсан 360-450^{0}С халуун хийг ашиглан 5.5-8.7 тн/ц, 320-350^{0}С, 1.05 МПа даралттай уур үйлдвэрлэдэг. 21.3- 44.3 м өндөртэй доороос дээш чиглэлтэй халуун хийн замд уур халаагуур, ууршуулагч, ус халаагч үеүдийг байрлуулсан. Халуун хий нь замдаа дулаан солилцох гадаргууд дулаанаа солилцож бойлероос гарах үед ~100^{0}С хэмтэй болдог. Халуун хий дэх хатуулаг бодис нь хүндийн хүчний нөлөөгөөр доош бойлерийн бункерт унаж гинжин дамжуулагчаар дамжиж үйлдвэрийн дараачийн дамжлагад очдог (5-р зураг).

Зуух: Эргэх буцлах давхаргад шатаах технологитой дотоод хүйтэн циклонтой зуух юм. Галын хотолд түлшний шаталтаас ялгарсан хийг утаа сорогчоор соруулж утаан дахь дутуу шатсан материалыг циклоноор ялган галын хотол руу өгдөг. Ингэснээр галын хотлын температурыг тогтвортой барих, нүүрсийг бүрэн шатаах давуу талтай [5, 6].

Уурын турбин: Уурын турбин нь N5-1.05 маркийн конденсаци төрлийн турбин юм. Дан цилиндртэй үйлдвэрийн болон дулаацуулгын авлага байхгүй. Холхивчны температур, чичиргээ, голын шилжилт, роторын эргэлт, тосны даралт, вакумын даралт гэх мэт 33 төрлийн автомат хамгаалалттай байдаг. Турбиныг автоматаар ажиллуулах төхөөрөмж болох WOODWARD 505 TURBINE CONTROL болон 8000 SERIES MONITOR-р тоноглогдсон (6, 8-р зураг).

Цахилгаан генератор: Турбины ротортой хатуу холбоосоор холбогдсон урд болон хойноо холхивчтой, агаарын хөргөлттэй 5000 кВт чадалтай, 6000 В хүчдэлтэй, 601.4 А гүйдэлтэй. Гар болон автосинхронизаци хийх төхөөрөмж, өдөөлт тохируулах микрокомпьютер, үндсэн хамгаалалтын релег хамгаалалтаар тоноглогдсон.



4-р зураг 110/6 кВ “Булагт” дэд станц

5-р зураг Турбингенератор

7-р зураг Автосинхронизаци төхөөрөмж

6-р зураг N5-1.05 турбин

8-р зураг WOODWARD 505 TUBINE CONTROL болон 8000 SERIES MONITOR

IV. ДҮГНЭЛТ

Монгол улсад одоогоор 7 цементийн үйлдвэр ажиллаж байгаа бөгөөд жилд 1,8 сая тонн цемент үйлдвэрлэж байна. Тус үйлдвэрүүд нь WHR технологийг нэвтрүүлснээр үйлдвэрлэлийн цахилгаан эрчим хүчний хангамжийг илүү найдвартай болгон хаягдал хийн температурыг бууруулснаар хүлэмжийн хийн ялгарлыг багасгаж дэлхийн дулаарлын эсрэг арга хэмжээнд нэгдэж байгаа юм. Монцемент компани нь WHR системийг нэвтрүүлснээр ажилчдын орон сууц болон үйлдвэрийн хэрэглэгчдийн дулаан болон цахилгаан эрчим хүчний хэрэгцээний тодорхой хувийг өөрсдөө хангаж байна.

Мөн төвийн эрчим хүчний системээс авах цахилгаан эрчим хүчний хэмжээг 30-40% бууруулж байгаа бөгөөд энэ нь орон нутгийн 15-20 сумын хэрэгцээг хангах хэмжээний цахилгаан эрчим хүчтэй тэнцэнэ.

V. АШИГЛАСАН ХЭВЛЭЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] https://moncement.mn/about-us

[2] https://ecc.erc.gov.mn/uploads/medee/CO2-MRV-guidence.pdf

[3] https://www.researchgate.net/publication/261076992_Waste_Heat_Recovery_Power_Generation_Systems_for_Cement_Production_Process

[4] http://twt.mpei.ac.ru/tthb/2/Aleksandrov/Chapter-7/7-1.pdf

[5] T. Engin and V. Ari, “Energy auditing and recovery for dry type cement rotary kiln systems—A case study,” Energy Convers. Manage., vol. 46, no. 4, pp. 551–562, Mar. 2005.

[6] F. Liu, M. Ross, and S. Wang, “Energy efficiency of China’s cement industry,” Energy, vol. 20, no. 7, pp. 669–681, Jul. 1995.

ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ СИСТЕМД СТАТИК ВАР ГЕНЕРАТОР ТӨХӨӨРӨМЖ АШИГЛАН СИСТЕМИЙН ГОРИМ ТОГТВОРЖУУЛАХ ХАРЬЦУУЛСАН СУДАЛГАА

Батжаргалын АЧИТ-ЭРДЭНЭ[1], Пүрэвжавын ЭРХЭМТӨР[2]
Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Цахилгааны инженерийн салбар
Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: achit-erdene@richwell.mn, erkhemtur@must.edu.mn

***Хураангуй*: Эрчим хүчний системийн горимын параметрүүдийг тогтвортой барих, ялангуяа алслагдсан урт агаарын шугамуудтай системд хүчдэлийг тогтворжуулах, чадал энергийн алдагдал багатай ажиллахын тулд маш олон хүндрэл бэрхшээлтэй тулгардаг. Тулгамдаж буй асуудлыг шийдвэрлэхийн тулд эрчим хүчний системд үр ашиг өндөртэй шинэ технологиудыг нэвтрүүлэх, цаашлаад эерэг нөлөөллүүдийг нэмэгдүүлэх шаардлагатай. Судалгаанд орчин үеийн компенсацлах төхөөрөмж болох статик вар генераторыг сонгон авч системд суурилуулан ашиглаж системийн горимын параметрүүдийг хэрхэн сайжруулж байгаа бодит үр дүнг суурилуулахаас өмнөх үеийн үзүүлэлтүүдтэй харьцуулан үнэлэлт дүгнэлт гаргав. Статик вар генераторыг сүлжээнд холбосноор техникийн алдагдал 249.71 мянган кВт.цаг-аар буурсан, 2023 оны өвлийн их ачааллын үед оргил цагийн ачаалал нь өмнөх онтой харьцуулахад 15-20%-иар өссөн бөгөөд ачааллын өсөлтөөс үл хамааран статик вар генератор төхөөрөмжийн тусламжтайгаар хүчдэлийн түвшнийг өмнөх онтой ижил түвшинд буюу нэгдсэн сүлжээний дүрэмд заасан хэмжээг барьж ажилласан. Мөн компенсацлах төхөөрөмжүүдийг бэлтгэлд авснаар 210.65 мянган кВт.цаг цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээг хэмнэсэн үзүүлэлттэй байна.**

Түлхүүр үг: FACTS, principle, appliance, TSC, TCR, статик вар генератор

I. УДИРТГАЛ

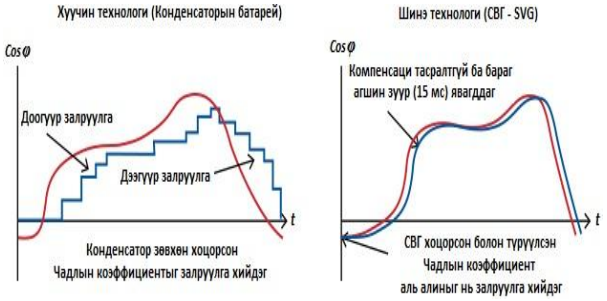
Цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын хүчдэлийн тогтворжилтыг сайжруулж хэрэглэгчдийг найдвартай, чанартай эрчим хүчээр тасралтгүй хангах нь эрчим хүчний системийн үндсэн зорилго юм.

Цахилгаан системийн хувьд орчин үеийн технологийн дэвшлүүдийн нэг нь өндөр чадлын хувиргуур буюу статик вар компенсатор болон дэвшилтэт статик вар генераторууд юм. Статик вар генератор нь эрчим хүчний сүлжээний реактив чадлыг тохируулах, эрчим хүчний чанарыг сайжруулах, сүлжээний алдагдал болон цахилгаан тоног төхөөрөмжийн нөлөөллийг бууруулах боломжтой ба өндөр гармоникийн шүүлтүүр болгон ашиглах тохиолдлууд байдаг. Статик вар генераторын гол зарчим нь өөрөө хувьсах гүүрэн хэлхээг системтэй шууд холбох эсвэл цахилгаан реактороор дамжуулан холбож гүүрэн хэлхээний гаралтын хувьсах талын хүчдэлийг тохируулах, мөн сүлжээний хувьсах талд гаралт болон оролтын реактив гүйдлийг шууд удирдаж хүчдэлийн хэлбэлзлийг тогтворжуулах явдал юм. Өөрөөр хэлбэл системийн хүчдэл ихсэх үед статик вар генератор нь сүлжээнд хуурмаг чадал нийлүүлнэ эсрэг тохиолдолд багтаамжийн шинж чанартай реактив чадлыг сүлжээнд нийлүүлдэг. Компенсацлах хэрэгсэл болох шугамын дагуу залгасан конденсаторууд ба шүнтлэгч реакторуудыг цахилгаан дамжуулах шугамын ажиллагааг тодорхой хэмжээгээр сайжруулахын тулд хэрэглэж болно[1].

Монгол улсын эрчим хүчний системийн Булган-Баянхонгор чиглэлийн хэрэглэгчдийн ихэнх хувийг айл өрх эзэлдэг бөгөөд шөнийн бага болон оройн их ачааллын зөрүү өндөр байдагтай холбоотойгоор хүчдэлийн хэлбэлзэл өндөр байдаг. Гэвч эрчим хүчний системд нийтлэг ашиглагддаг уламжлалт реакторууд нь тогтмол гаралттай байдаг бөгөөд энэ нь төдийлөн системийн ачааллын өөрчлөлтөд уян хатан байдлаар хариу үйлдэл үзүүлж чаддаггүй. Мөн насжилтаас хамааран тусгаарлах материалууд муудаж улмаар реакторын гүйцэтгэл тэр хэмжээгээр саарч эвдрэл гэмтэл их гардаг. Үүнээс гадна реактив чадлыг тохируулахын тулд ихэвчлэн гар аргаар эсвэл механик горимоор реактор, конденсаторуудыг залгаж салгах шаардлагатай байдаг нь сул тал болдог[2]. Гэвч орчин үеийн статик вар генераторууд нь энэхүү сул талуудыг хангалттай нөхөж чадахуйц болсон байна.

Дэвшилтэт статик вар генераторыг одоогоор эрчим хүчний системд ашиглаж байгаа генераторуудтай харьцуулахад системийн горимын өөрчлөлтөд бие дааж миллисекундын дотор буюу хурдан хариу үйлдэл үзүүлэх чадвартай, урт хугацааны найдвартай ажиллагааг хангадаг, хүчдэлийг тохируулах далайц өргөн, ашиглалтын үед засвар үйлчилгээ хийхэд илүү хялбар байдаг. Мөн бүх шийдлийг нэг дор шийдсэн контейнер загвартай, зөөврийн байдлаар ашиглах боломжтой нь илүү давуу талтай байна[3]. Нөгөөтэйгөөр уламжлалт эрчим хүчний эх үүсвэрүүд хомсдож байгаатай холбоотойгоор сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсвэрүүдийг хөгжүүлэхэд улам бүр их анхаарал хандуулах болсон. Салхин цахилгаан үүсгүүрийн технологи нь боловсронгуй болж, эдийн засгийн өндөр үр ашигтай бөгөөд зах зээлд эзлэх байр суурь нь жил бүр улам тэлсээр байна[4]. Салхины эрчим хүчний санамсаргүй шинж чанар нь цахилгаан системийн уян хатан чанар, динамик гүйцэтгэлд янз бүрийн байдлаар нөлөөлдөг. Тухайлбал, том хэмжээний салхин цахилгаан станцууд нь ихэвчлэн

ачааллын төвөөс хол байрладаг тул алсын зайн цахилгаан дамжуулалт хийх шаардлагатай болдог мөн системийн үр ашигтай инерцийг бууруулж байна. Иймд статик вар генераторыг салхин цахилгаан станцуудтай холбож хүчдэлийг тогтворжуулах, салхины хурд, чиглэл өөрчлөгдөхөд системийн параметрүүдийг түргэн тохируулах зэрэг эрчим хүчний системийн найдвартай ажиллагааг хангаж байгаа нь статик вар генераторын хэрэглээг дэлхий нийтэд улам нэмэгдүүлж байна[5].



1-р зураг. Хуурмаг чадлын компенсаци хийдэг хучин ба шинэ технологи

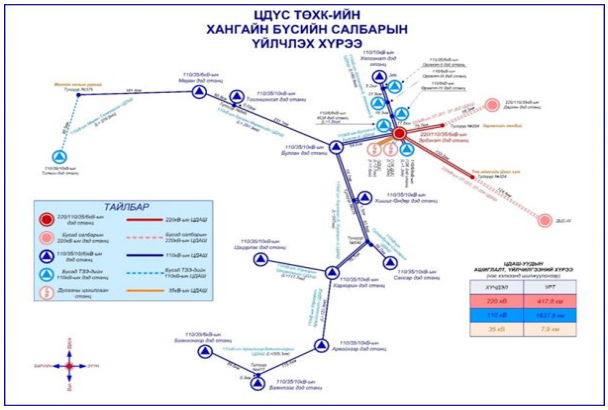
Энэхүү өгүүллийн I хэсэгт удиртгал, II хэсэгт туршилт хийсэн объектын тухай, III хэсэгт SVG төхөөрөмжийн ажиллагаа болон үндсэн зарчмын тухай, IV хэсэгт туршилтын өмнөх болон дараах үр дүнгүүдийн талаар, V хэсэгт дүгнэлт гэсэн хэсгүүдийг оруулсан болно.

II. Туршилт хийгдсэн обьектийн тухай

Өвөрхангай аймгийн Хархорин сумын 110/35/10кВ-ын дэд станцын 110кВ-ын шинд ±15МВар чадалтай статик вар генератор суурилуулснаар Өвөрхангай аймгийн 25186, Архангай аймгийн 9086, Баянхонгор аймгийн 11886, Төв аймгийн 1628, нийт 47786 хэрэглэгчдийн хүчдэлийн уналтын асуудал шийдэгдэж, цахилгаан эрчим хүч хэрэглэгчдийг найдвартай чанартай эрчим хүчээр хангах зорилго биелэгдэж, техникийн алдагдал буурч тэр хэмжээгээр тоноглолын тасралтгүй ажиллагаа хангагдаж эцсийн цахилгаан эрчим хүч хэрэглэгчдийн хувьд чанараас шалтгаалах доголдол үүсэхгүй байх боломжтой.

Цахилгаан Дамжуулах Үндэсний Сүлжээ ТӨХК-ийн Хангайн бүсийн салбар нь 220/110/35/6 кВ-ын 1, 110/35/10 кВ-ын 8, 110/35/6 кВ-ын 2, 110/10 кВ-ын 1 дэд станцуудын ашиглалтыг хариуцаж үйл ажиллагаагаа явуулдаг.

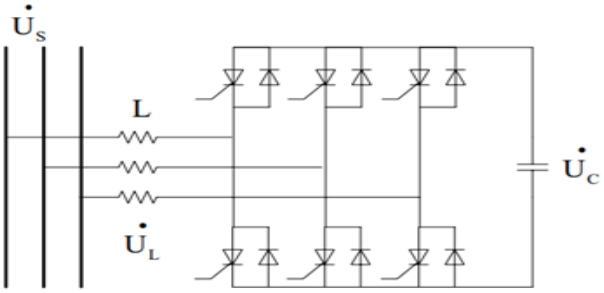
Эрдэнэт дэд станц нь 220 кВ-ын 201, 202, 203, 204-р ЦДАШ-аар 220/110/35/6 кВ-ын Дархан дэд станц болон “ДЦС-4” ТӨХК-тай, 110 кВ-ын 151,152 ЦДАШ-аар “Эрдэнэт үйлдвэр” ТӨҮГ-ын, 110 кВ-ын 153-р болон 35 кВ-ын Блок-1,2,3-р шугамуудаар Эрдэнэтийн ДЦС-уудтай холбогддог. Салбарын суурилагдсан хүчин чадал 619.3 МВА ба 220кВ-ын 417.6 км, 110кВ-ын 1639.3 км, 35кВ-ын 7.91км урт цахилгаан дамжуулах агаарын шугамаар 142 сум суурин, 128856 айл өрх, 14978 аж ахуйн нэгжийг цахилгаан эрчим хүчээр хангадаг салбар юм[6].



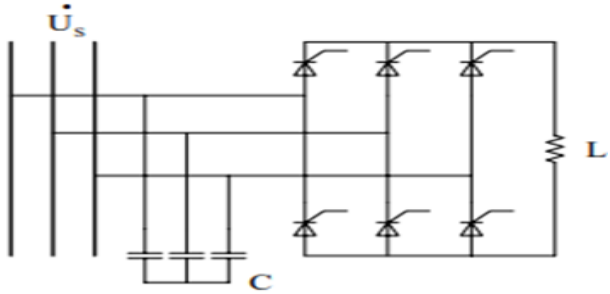
2-р зураг. Хангайн бүсийн салбарын үйлчлэх хүрээ

III. SVG ТӨХӨӨРӨМЖИЙН ТУХАЙ

Өндөр чадлын бүрэн автомат удирдлагатай хүчний электроникийн төхөөрөмжүүд болон бусад төрөл бүрийн удирдлагын арга техникийг ашигласнаар инвертерийн технологийн хөгжил хурдасч байна. Энэхүү технологи дээр суурилж ажилладаг статик вар генератор нь системийн реактив чадлыг тохирох хэмжээнд хадгалж чадсанаар хүчдэлийн уналтыг бууруулах, шугамын алдагдлыг багасгах системийн оновчтой ажиллагааг хангах үр ашигтай юм. Статик вар генератор нь хэлхээнээсээ хамааран гүйдлийн гүүрэн хэлхээ (3-р зураг), хүчдэлийн гүүрэн хэлхээ (4-р зураг) гэсэн хоёр төрлийн хэлхээнээс бүрддэг.



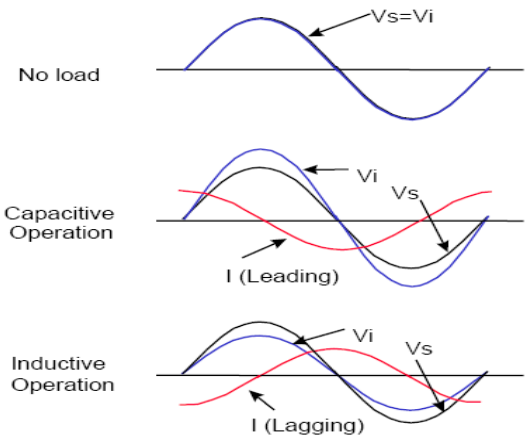
3-р зураг. Гүйдлийн гүүрэн хэлхээ



4-р зураг. Хүчдэлийн гүүрэн хэлхээ

Шугам дахь актив болон реактив чадлын урсгалыг илэрхийлэхэд $U_{инв}$ ба $U_{сис}$, трансформаторын эсэргүүцэл болон хоёр холболтын хоорондын өнцгийн ялгааг ашигладаг. Систем дэх $U_{сис}$ болон $U_{инв}$ -ийн хоорондох өнцгийг d гэж үзье. Статком нь d=0 үед ажиллахад актив чадал тэг болдог бол реактив чадал нь ихэвчлэн хүчдэлийн

модулиас шалтгаалдаг. Тогтмол төлөвт Q нь зөвхөн $U_{сис}$ болон $U_{инв}$ хүчдэл хоорондын модулийн зөрүүнээс хамаардаг гэж хэлж болно. Реактив чадлын хэмжээ нь $U_{сис}$ болон $U_{инв}$-ийн хүчдэлээс ялгаатай пропорциональ байна.



5-р зураг. Статкомын ажиллах зарчим

Статик Вар генераторын ажиллагааны гурван горим байдаг

1. Ачаалалгүй ажиллагааны горим

Ачаалалгүй ажиллагааны горимд гурван онцлог шинж чанар бий. Статик вар генераторын хувиргагчийн гаралтын хувьсах талын хүчдэл нь эрчим хүчний системийн хүчдэлтэй тэнцүү байна. Эрчим хүчний систем болон статик вар генераторын хувиргагчийн хооронд ямар ч гүйдэл байхгүй бөгөөд статик вар генератор болон эрчим хүчний системийн хооронд эрчим хүчний солилцоо байхгүй.

2. Багтаамжийн горим

Конденсаторын ажиллагааны горимд статик вар генераторын хувиргагчийн гаралтын хувьсах талын хүчдэл нь эрчим хүчний системийн хүчдэлээс өндөр байдаг. Эрчим хүчний систем болон статик вар генераторын хувиргагчийн хооронд системийн хүчдэлээс өнцгийн хувьд түрүүлсэн гүйдэл урсдаг. Конденсаторын реактив энергийг статик вар генераторааар дамжуулан эрчим хүчний систем рүү нийлүүлдэг.

3. Индукцийн горим

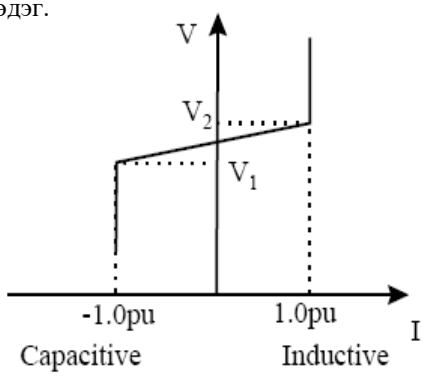
Индуктив ажиллагааны горимд статик вар генераторын хувиргагчийн гаралтын хувьсах талын хүчдэл нь эрчим хүчний системийн хүчдэлээс бага байдаг. Эрчим хүчний систем болон статик Вар генераторын хувиргагчийн хооронд системийн хүчдэлээс вектор диаграмм дээр хоцорсон гүйдэл урсдаг. Статик вар генератор нь эрчим хүчний системээс индуктив реактив энергийг авч ашигладаг. Системд нийлүүлэх реактив энерги нь дараах байдлаар илэрхийлэгдэнэ.

$$Q = \frac{U_S^2}{2R_S} sin2\alpha \qquad (1)$$

Үүнд:

U_s - системийн хүчдэл, R_s- инвертерийн эквивалент эсэргүүцэл, α- статик вар генераторын гаралтын хүчдэл болон U_s хоорондын өнцгийг илэрхийлнэ. Томьёоноос харахад, α-ийн утгыг өөрчлөх замаар системд нийлүүлэх реактив энергийг удирдах боломжтой. R_s-ийн утга бага тул тохируулгын хүрээ өргөн байдаг[1].

Статик синхрон компенсатор нь хүчдэлийг U_1-ээс U_2 хүртэл жигд бөгөөд тасралтгүй удирдаж чадна. Гэсэн хэдий ч, хэрэв системийн хүчдэл хамгийн бага хүчдэл (U_1) эсвэл хамгийн өндөр хүчдэлийн (U_2 хязгаараас хэтэрвэл, статик синхрон компенсатор нь хувиргагчийн хүчдэл ($U_{сис}$)-ийг зохицуулан тогтмол гүйдлийн эх үүсвэрийн үүрэг гүйцэтгэдэг.



6-р зураг. Статкомын гүйдэл хүчдэлийн хамаарал

IV. Туршилтын өмнөх болон дараах үр дүн

Өвлийн их ачааллын болон зуны бага ачааллын үед горимын хүндрэлийн асуудлыг шийдвэрлэх зорилгоор 2023-2024 онд 2 дэд станцад СВГ төхөөрөмж суурилуулан ажилласан. Үүнд:

1. 2023 оны 4-р сарын 4-ний өдөр 110/35/10кВ-ын Хархорин дэд станцад 15МВАр-ын СВГ төхөөрөмжийг суурилуулан ажилд залгасан.
2. 2023 оны 10-р сард 110/35/10/6 кВ-ын Баянхонгор дэд станцад 5МВАр-ын СВГ-1-ийг хүчдэлд залгаж ажилд оруулсан, мөн 2024 оны 8-р сарын 30-ны өдөр 5МВАр-ын СВГ-2 төхөөрөмжийг тус тус суурилуулан ажилд залгасан.

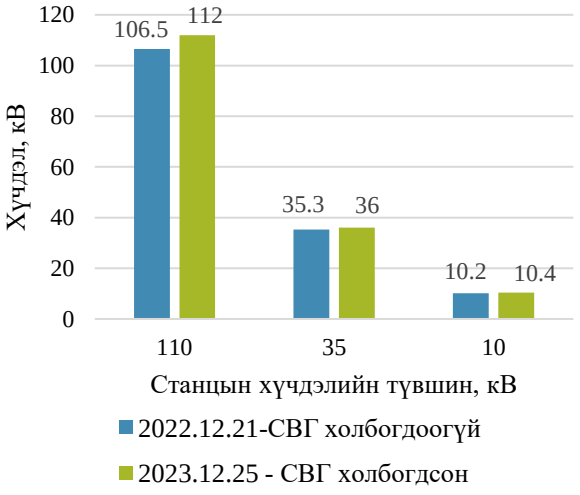
Дээрх 2 дэд станцад СВГ төхөөрөмж суурилагдсанаар дараах үр дүн гарсан.

2022, 2023 ОНЫ ЗУНЫ БАГА АЧААЛАЛ БОЛОН ӨВЛИЙН ИХ АЧААЛЛЫН ҮЕИЙН ХЭМЖИЛТИЙН УТГА

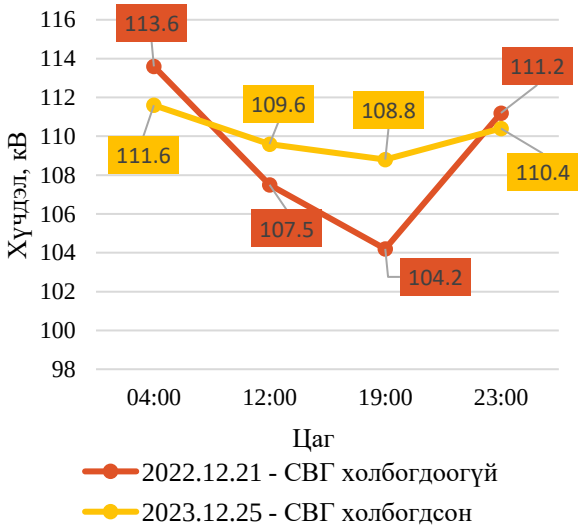
ХҮСНЭГТ 1

Д/д	Дэд станцын нэр	СВГ төхөөрөмж суурилуулахаас өмнөх үеийн хүчдэл /кВ/		СВГ төхөөрөмж суурилуулсны дараах үеийн хүчдэл /кВ/	
		2022 оны Зуны бага ачаалал	2023 оны Зуны бага ачаалал	2022 оны Өвлийн их ачаалал	2023.12.25 Өвлийн их ачаалал
1	110/35/10кВ Хархорин дэд станц	115.8	106.5	115.8	112.0
		37.2	35.3	36.2	36.0
		10.8	10.2	10.6	10.4
2	110/35/10кВ-ын Арвайхээр дэд станц	113.5	102.9	115.0	107.6
		36.0	35.4	37.5	36.0
		10.6	10.0	10.6	10.3
3	110/35/10кВ-ын Цэцэрлэг дэд станц	115.0	104.2	115.1	108.8
		38.0	35.1	37.3	35.5
		10.4	9.7	10.5	10.0
4	110/35/10/6кВ-ын Баянхонгор дэд станц	110.8	100.7	112.5	106.3
		36.6	34.4	37.4	34.8
		6.0	5.8	6.2	5.9
		10.4	9.8	10.6	10.3

Хархорин-Баянхонгор чиглэлийн дэд станцуудад оргил ачааллын цагт хүчдэл унах, шөнийн бага ачааллын цагт хүчдэл өсөх асуудлуудыг шийдсэн. 2023 оны өвлийн их ачааллын үед оргил цагийн ачаалал нь өмнөх онтой харьцуулахад 15-20%-иар өссөн бөгөөд ачааллын өсөлтөөс үл хамааран СВГ төхөөрөмжийн тусламжтайгаар хүчдэлийн түвшнийг өмнөх онтой ижил түвшинд буюу нэгдсэн сүлжээний дүрэмд заасан хэмжээг барьж ажилласан. Хүснэгт №1-д харуулав:

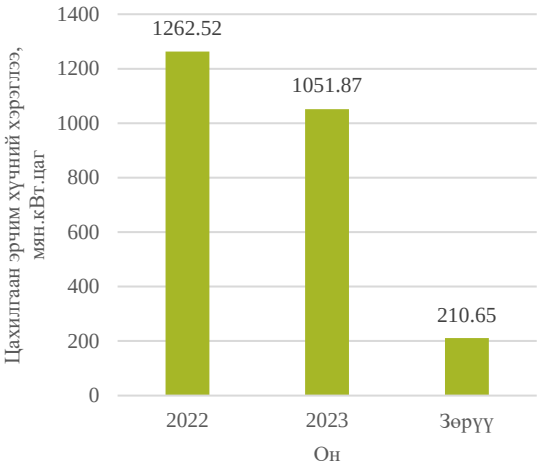


7-р зураг. Хархорин 110/35/10кВ-ын хүчдэлийн түвшин



8-р зураг. Цэцэрлэг дэд станцын шинийн хүчдэл СВГ холбогдохоос өмнөх болон дараах үр дүн 24 цагаар харуулав.

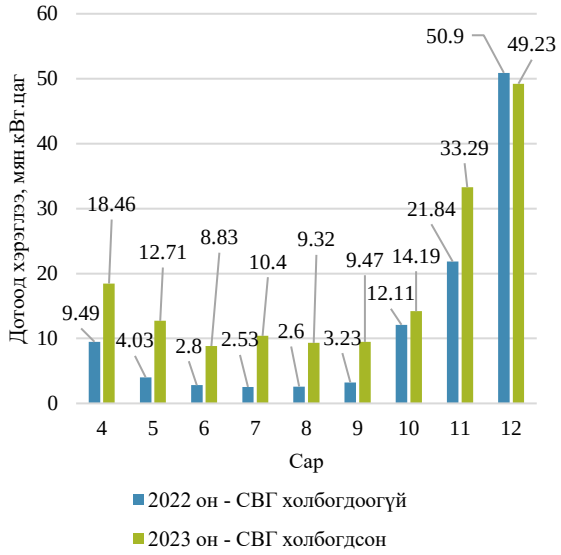
Тус төхөөрөмжийн тусламжтайгаар зуны бага ачааллын болон өвлийн их ачааллын үед горимын тохируулга хийж Хархорин дэд станцын 3.3 МВар-ын Р-1, 2, 3, Арвайхээр дэд станцын 3.3 МВар-ын Р-1, Баянхонгор дэд станцын 3.3 МВар-ын Р-1, К-1, Баянтээг дэд станцын 3.3 МВар-ын К-1 төхөөрөмжийг бэлтгэлд авч 2023 онд 210.65 мян.кВт.цаг ЦЭХ-ээр компенсацлах төхөөрөмжүүдийн хэрэглээг бууруулсан байна.



9-р зураг. Компенсацлах төхөөрөмжийн хэрэглээ

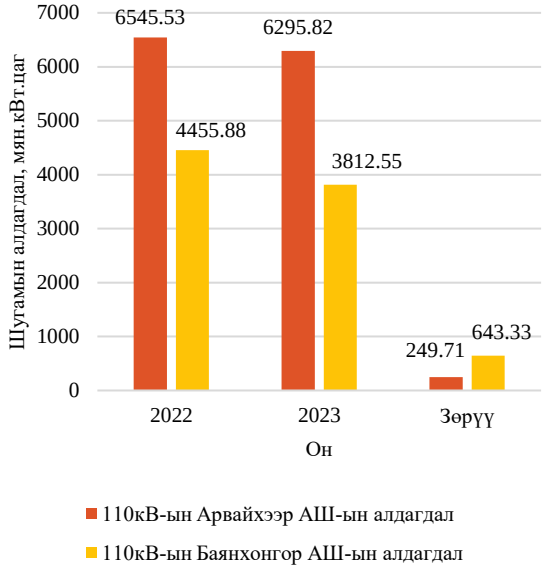
Компенсацлах төхөөрөмжүүдийг бэлтгэлд авснаар салбарын хэмжээнд техникийн алдагдал бууруулахад эерэг нөлөө үзүүлж байна (9-р зураг).

Хархорин дэд станц: 2023 оны 4-р сарын 4-нд СВГ төхөөрөмжийг хүчдэлд залгаж, ажилд оруулсан. 2022 оны 4-12-р сарын СВГ холбогдоогүй үеийн ДХ-ний хэрэглээг 2024 оны 4-р сараас 12-р сар хүртэл СВГ ажиллаж байх үетэй харьцуулсан болно.

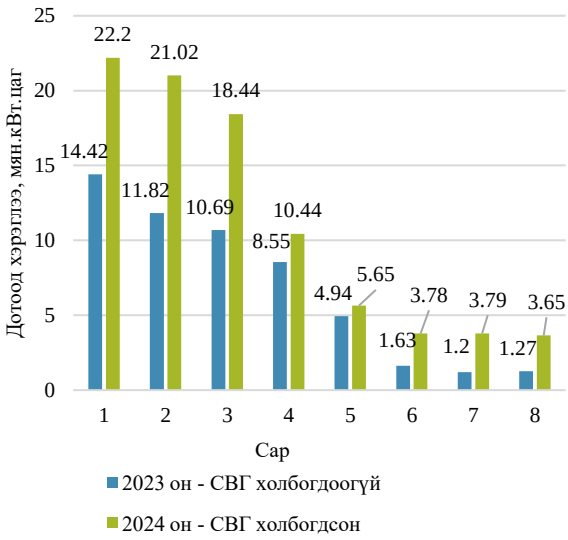


10-р зураг. Хархорин дэд станцын ДХ-ний цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээ

Баянхонгор дэд станц: 2023 оны 10-р сард СВГ-1-ийг хүчдэлд залгаж, ажилд оруулсан. 2023 оны эхний 8 сарын СВГ холбогдоогүй үеийн ДХ-ний хэрэглээг 2024 оны эхний 8 сарын СВГ ажилд байх үетэй харьцуулсан (10-р зураг).



11-р зураг. Шугамын алдагдлын харьцуулалт



12-р зураг . Баянхонгор дэд станцын ДХ-ний ЦЭХ.

V. ДҮГНЭЛТ

110/35/10кВ-ын Хархорин дэд станц, 110/35/10кВ-ын Баянхонгор дэд станцуудад статик Вар генератор суурилуулснаар зуны бага ачаалал болон өвлийн их ачааллын үед хүчдэлийн түвшнийг тогтворжуулж оргил ачааллын цагт хүчдэл унах, шөнийн бага ачааллын үед хүчдэл өсөх асуудлыг шийдэж чадсан бөгөөд НСД-ийн дагуу зөвшөөрөгдөх хэмжээнд хүчдэлийг барьж ажиллаж байна. Мөн компенсацлах төхөөрөмжүүдийг бэлтгэлд авснаар 210.65 мянган кВт.цаг цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээг хэмнэсэн байгаа нь туршилтын үр дүнгээс харагдаж байна. Нөгөөтэйгөөр сэлгэн залгалтын тоо багасаж станцын ээлжийн инженер техникийн ажилчдын ажлын ачааллыг багасгасан. Шугамын алдагдлыг 2023 оныг 2022 онтой харьцуулж үзэхэд Арвайхээр, Баянхонгор чиглэлийн агаарын шугамын алдагдал харилцан 249.71 мянган кВт.цаг, 643.33 мянган

кВт.цаг-аар алдагдал багассан байна. Энэхүү судалгаанаас дүгнэж үзэхэд статик вар төхөөрөмжийг бусад дэд станцуудад ашиглах боломжийг харуулж багаа ба эрчим хүчний системийг сайжруулахад үнэтэй хувь нэмэр оруулж байгааг харуулж байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] С. Батмөнх, Ба. Бат-Эрдэнэ ба Н.И. Воропай, “Монголын эрчим хүчний салбарын хөгжил: I. Тойм, бодлого, шинжилгээ, загварчлалын асуудал,” Эрчим хүч&Engineering. Улаанбаатар, № 197, 2020 оны 7-р сар.

[2] Narain G. Hingorani, Laszlo Gyugyi. (2000). Understanding FACTS: Conceps and Technology of Flexible AC Transmission Systems. 1-18.

[3] П.Эрхэмтөр, Б.Ачит-Эрдэнэ, Ч.Баттулга, Б.Адьяабал, Г.Жавхлантөгс. (2024). Дамжуулах сүлжээний хүчдэл тохируулгын шинэ технологи ашиглах асуудал.

[4] Honghai Kuang, Liping Zheng, Shengqing Li, Xiaowei Ding . (2018). Voltage stability improvement of wind powergrid-connected system using TCSC-STATCOM control. 1-2.

[5] Yuan Chi, Y. X. (2019). Coordinated Var Planning for Voltage Stability Enhancement of a Wind-Energy Power System considering Multiple Resilience Indices. 1-2.

[6] Цахилгаан дамжуулах үндэсний сүлжээ ТӨХК. (2024). Retrieved from Цахилгаан дамжуулах үндэсний сүлжээ ТӨХК: www.transco.mn

ХЭРЭГЛЭГЧИЙН ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ ХЯНАЛТЫН УХААЛАГ СИСТЕМ

Цэвэлдоржийн БАТТОГТОХ[1], Бямбасүрэнгийн БАТ-ЭРДЭНЭ[2]
[1] Монгол улс, Улаанбаатар, Эрчим хүчний зохицуулах хороо
[2] Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Цахилгааны техникийн салбар
**Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: tseveldorj.battogtokh89@gmail.com, baterdene@must.edu.mn*

Хураангуй: **Улсын хэмжээнд цахилгаан түгээх, цахилгаанаар зохицуулалттай хангах тусгай зөвшөөрөл эзэмшигчид бүртгэлтэй 997,535 цахилгааны тоолуур ашиглагдаж байгаагаас 355,068 буюу 35.59% ухаалаг тоолуур, 642,467 буюу 64.41%-ийг бусад тоолуур эзэлж байна. Ухаалаг тоолуур тодорхой хэмжээнд нэвтэрч байгаа ч хэрэглэгч талын хяналт мэдээллийн систем орхигдох нөхцөл байдал хэвээр үргэлжилсээр байна. Цахилгаан эрчим хүчний зарим хэрэглэгчид тоолуурын ажиллагаа болон хангагчийн бичилтэд итгэдэггүй шалтгаан нь хэрэглэгч хэрэглээндээ тогтмол хяналт тавих техникийн боломжгүй нөхцөл байдлаас болдог. Хангагч байгууллагын зарим ажилтнуудын буруутай үйл ажиллагаанаас (тоолуурын заалтыг зөрүүтэй бичих) болж төлбөр өндөр гарах зэрэг асуудал бий болж хэрэглэгчийн бухимдлыг үүсгэдэг. Энэхүү судалгааны ажлаар дээрх асуудлыг шийдэхийн тулд бодит хугацаанд тооцооны тоолуураас зохих параметрийг уншиж хэрэглэгчид мэдээлэх буюу хэрэглэгч (айл өрх, аж ахуй нэгж, байгууллага) цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээг зайнаас дурын цагт хянаж болох төхөөрөмжийн техник хангамж, программчлалын боломжийг харуулахыг зорив. Энэ өгүүлэлд техник хангамжийн бүтэц, схем боловсруулалт, мэдээллийг хэрэглэгчид дамжуулах программын алгоритм, зарим туршилтын үр дүнг харуулсан. Мөн техник хангамжийн боловсруулалтыг SoC (System-on-Chip) архитектур дээр суурилан хийгдсэн ESP32 (Espressif Systems) микроконтроллерыг ашиглан гүйцэтгэсэн болно. Санал болгож буй ухаалаг системийг нэвтрүүлснээр хэрэглэгч хэрэглээгээ хянах, удирдах, зардлаа хэмнэх, илүү ухаалаг хэрэглээ бий болгох, цахилгааны хэт ачаалал доголдлоос сэргийлэх, ил тод байдал бий болох, эрчим хүчийг хэмнэж байгаль орчинд эерэг нөлөө үзүүлэх зэрэг олон давуу талууд бий болж хэрэглэгч талын хяналт мэдээллийн системийг хөгжүүлэх чухал шийдэл болох юм.**

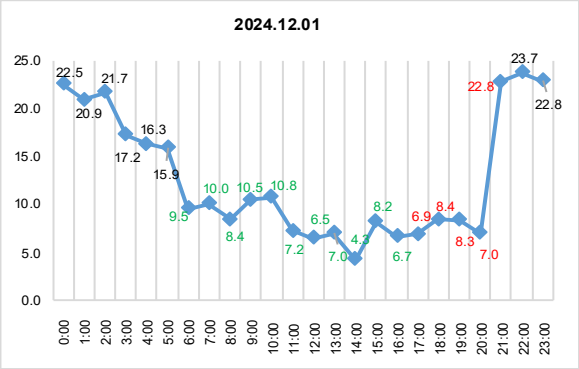
Түлхүүр үг: Цахилгаан тоолуур, хэрэглэгч, бодит цагийн хяналт, IoT (Internet of Things), эрчим хүчний хэмнэлт, MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)

I. УДИРТГАЛ

Эрчим хүчний системд тооцооны хэмжих хэрэгслийг дамжуулагч, түгээгч, хангагч болон хэрэглэгчийн цахилгаан тоног төхөөрөмжийн эзэмшлийн зааг дээр суурилуулж тооцооны тоолуурын заалтыг зохих тарифаар үржүүлж гарсан мөнгөн дүнгээр нь төлбөр тооцоог хийдэг. Эрчим хүчний салбарт тооцооны тоолуур нь маш чухал хэмжүүрийн тоног төхөөрөмж юм. Тоолуурыг механик, импульсын, электрон, ухаалаг зэрэг техникийн боломжоос нь хамааруулан олон төрөлд ангилан хуваадаг. Эдгээр тоолуурыуудаас ухаалаг тоолуурыг дэлхийн ихэнх улс орон өргөн хэрэглэж байна. Энэхүү тоолуурыг эрчим хүчний системд нэвтрүүлснээр заалт авах, хэрэглэгчийн цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээг түдгэлзүүлэх, сэргээх зэрэг үйлдлийг алсын зайнаас холбооны сувагт шилэн кабель, LAN (Local Area Network) сүлжээ, GPRS (General Packet Radio Service), радио долгион, Bluetooth, ZigBee, PLC (Power Line Carrier communication), утасгүй сүлжээг ашиглан дээрх үйлдлүүдийг операторын түвшинд гүйцэтгэж байна [1], [2], [3], [4]. Ухаалаг тоолуур нь фаз тус бүрийн гүйдэл, хүчдэл, чадал гэсэн үндсэн параметрүүдийг өөр дээрээ хадгалах чадамж бүхий олон тарифт электрон тоолуур юм. Энэхүү тоолуурыг системд нэвтрүүлснээр хэрэглэгчийн ачааллын хяналт ба менежмент хийх, шугам тоноглол, техникийн бус үүдэлтэй цахилгааны алдагдлыг багасгах, цахилгааны хэрэглээний заалт авах системийг хөнгөвчлөх, хэрэглэгчийг стандартын шаардлага хангасан цахилгаан эрчим хүчээр хангах зэрэг олон давуу талуудтай юм. Мөн зарим цахилгаан түгээх, цахилгаанаар зохицуулалттай хангах тусгай зөвшөөрөл эзэмшигч компаниуд тоолуурын системийг төлбөр тооцооны программтай холбож цахилгаан эрчим хүчээр хязгаарлагдсан хэрэглэгч төлбөрөө төлсөн үед дансны үлдэгдэлгүй болсныг шалгаж цахилгаан эрчим хүчийг сэргээх хүртэл шийдлийг хийж байна. Гэвч хангагч талын үйл ажиллагааны зардлыг бууруулах, ажлыг хөнгөвчлөх тал дээр илүү ач холбогдол өгч харин хэрэглэгч талын хяналт мэдээллийн системийг орхигдуулсан байж болох юм.

Мөн шинээр 0.4 кВ-ын хүчдэлийн түвшинд холбогдох хэрэглэгчид нь техникийн нөхцөлийн хүсэлтээ цахилгаан түгээх, цахилгаанаар зохицуулалттай хангах тусгай зөвшөөрөл эзэмшигчид өгч түүнийг нь хүсэлт авсан байгууллага нь судалж хүчдэлд холбогдох цэгийг нь тодорхойлон техникийн нөхцөлийг олгодог. Уг техникийн нөхцөлд чадлын хэмжээг 10 кВА-аар хязгаарлаж зааж өгсөн байдаг. Гэтэл хэрэглэгчид техникийн нөхцөл болон гэрээнд заасан чадлын хэмжээг хэтрүүлэн хэрэглэж байна.

Эрчим хүчний зохицуулах хороо 2024 оны 11 дүгээр сарын 15-ны өдрөөс цахилгааны үнэ тарифыг хэрэглээнээс хамааруулаад 3 шатлалтайгаар нэмсэн. Үнэ тарифт өөрчлөлт орсноос хойш 2025 оны 02 дугаар сарын 26-ны өдрийг хүртэлх хугацаанд төлбөр өндөр гарсан гэх гомдол Улсын хэмжээнд 2666 ирсэн. Үүнтэй холбоотойгоор "Эрчим хүчний зохицуулах хороо" болон "Улаанбаатар цахилгаан түгээх сүлжээ" ТӨХК-тай хамтарсан ажлын хэсэг байгуулагдан гомдол өгсөн хэрэглэгчтэй газар дээр нь ажиллахад хэрэглэгчид цахилгааны тоолуурын ажиллагаа болон бичилтэд итгэхгүй байна гэх тайлбаруудыг ихээр хэлж байсан. Гомдол өгсөн нэг хэрэглэгчийн цахилгааны хоногийн ачааллын мэдээг 1-р зурагт үзүүлэв.



1-р зураг. Хэрэглэгчийн хоногийн ачаалал

Энэхүү айл нь 168 м2 амины орон сууцтай 28 кВт-ын цахилгаан халаагууртай халаагуурын удирдлагыг хугацааны релегээр шийдсэн. Дээрх графикаас харахад шөнийн тарифын хөнгөлөлтөд хамрагдах үүднээс хэрэглээгээ тохируулсан хэдий ч техникийн нөхцөлд болон цахилгаан эрчим хүчээр хангах гэрээнд заасан чадлын хэмжээг хэтрүүлэн хэрэглэж байгаа нь харагдаж байна.

Цахилгаан эрчим хүчний хяналтгүй хэрэглээ болон манай улсын хүн амын амьдралын хэв маяг жилээс жилд уламжлалт нүүдэлчин ахуйгаас суурин газарт шилжих, цахилгаан тоног төхөөрөмжийн дэвшилтэд техник технологи нэвтэрч эрчим хүчний хэрэглээ өсөн нэмэгдсээр байна. Энэхүү шалтгаанаас болж Монгол улсын эрчим хүчний систем өвлийн оргил ачааллын үед чадлын дутагдалд орж хязгаарлалтууд хийгдэж байна. Эрчим хүчний тухай хуульд хэрэглэгч гэж эрчим хүчээр хангах гэрээнд эрчим хүчийг худалдан авах эрхтэйгээр оролцож байгаа иргэн, хуулийн этгээдийг хэлнэ гэж заасан байдаг. Гэвч ахуйн хэрэглэгчдийг гэрээнд заасан тоо хэмжээгээр хэрэглэж байгаа эсэхийг бид хянаж чадахгүй байна. Ухаалаг тоолуурт цахилгаан эрчим хүчээр хангах гэрээнд заасан чадлын хэмжээг оруулж гэрээний заалтаас хэтэрсэн тохиолдолд хэрэглэгчдийг цахилгаан эрчим хүчээр хязгаарлаж болох юм. Энэ нь нэг талаас харахад зөв боловч хэрэглэгч нарт таны хэрэглээ гэрээнд заасан хэмжээнээс хэтэрлээ гэх талаар мэдээлэл өгөхгүйгээр эрчим хүчээр хязгаарлаж байгаа нь дутагдалтай байна. Иймд энэхүү судалгааны ажлаар хэрэглэгчийн хэрэглэж байгаа цахилгаан эрчим хүчийг хянаад гэрээнд заасан тоо хэмжээнд ойртож тодорхой утгад хүрэхэд хэрэглэгчид мэдээлэх, цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээгээ стандарт хэмжил зүйн газраас баталгаажуулсан хэмжүүрийн төхөөрөмжөөс бодит хугацаанд хянах боломжийн талаар судалж энэхүү техникийн шийдлийг хийхийг зорьсон. Үүнтэй ижил төстэй судалгаанууд олон улсад хийгдсэн байна. Эдгээр судалгаануудад интернэт сүлжээнд (IoT) суурилсан цахилгааны тоолууртай ижил төстэй төхөөрөмжүүд хийж барилгын эрчим хүчний хяналтын системд нэвтрүүлж туршилтууд хийсэн байна [5-10]. Эдгээр судалгааны ажлууд нь эрчим хүчний төлбөр тооцоо хийдэг хэмжүүрийн тоолуураас хэрэглэгчдийг өөрийн хэрэглэж байгаа цахилгааны хэрэглээг бодит цагт хянах боломжийг олгоогүй харин тоолууртай ижил төстэй төхөөрөмж хийж хэрэглэгчийг мэдээллээр хангасан байна. Хэрэглэгч нарт 2 хэмжүүрийн төхөөрөмж суурилуулах нь эдийн засгийн хувьд үрэлгэн шийдэл байж болох юм.

II. ХЭРЭГЛЭГЧИЙН ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ ХЯНАЛТЫН УХААЛАГ СИСТЕМИЙН ШИЙДЭЛ

Цахилгааны тоолуураас мэдээлэл авч хэрэглэгчид синхрон буюу бодит хугацаанд утасгүй сүлжээг ашиглан алсаас хянах мэдээлэхэд дараах боломжууд байна. Үүнд:

1. Bluetooth
2. WiFi
3. SIM (4G)
4. LoRa (радио долгион)
5. Zigbee

Дээрх боломжуудаас WiFi сүлжээг эхний тохиолдолд сонгон авч хэрэгжүүлсэн. Сонгож авсан хувилбарын шийдэл нь ESP32, RS485 интерфэйс болон Modbus RTU протоколтой цахилгааны ухаалаг тоолуурт холбогдож бодит цагийн мэдээллийг авах боломжийг олгоно.

Шаардагдах техник хэрэгсэл

- ESP32 (WiFi болон Bluetooth)
- RS485 to TTL модуль (MAX485)
- Цахилгааны ухаалаг тоолуур (RS485 порттой, Modbus RTU протокол дэмждэг байх)
- Холболтын утас, терминал блок

RS485-ийг ESP32-той холбосон холболтын схемийн дэлгэрэнгүй тайлбар мэдээллийг 1-р хүснэгтэд үзүүлэв.

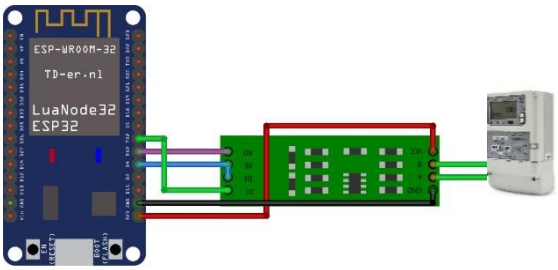
RS485 БОЛОН ESP32 ХӨГЖҮҮЛЭЛТИЙН МОДУЛИУДЫН ХӨЛҮҮДИЙН ТАЙЛБАРУУД, ХОЛБОЛТУУД

1-Р ХҮСНЭГТ

ESP32PIN	RS485 модуль (MAX485)	Тайлбар
3.3V (VCC)	VCC	Цахилгаан тэжээл
GND	GND	Газардуулга
GPIO 16 (TX2)	RO	Data Receive (RX)

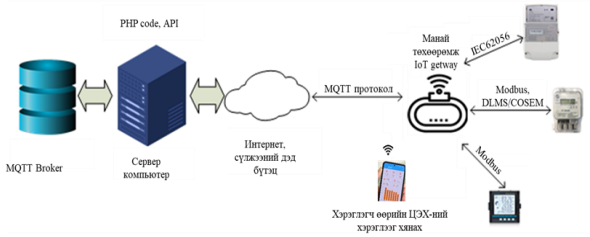
GPIO 17 (RX2)	DI	Data Transmit (TX)
GPIO 4	DE & RE	RS485 хяналт (HIGH = илгээх, LOW = Хүлээх)
RS485 интерфейсийн A, B терминалуудыг цахилгааны тоолуурын A, B терминалд холбоно.		

Ухаалаг тоолуур болон RS485-ийг ESP32-той холбосон холболтын схемийг 2-р зургаас харж болно.



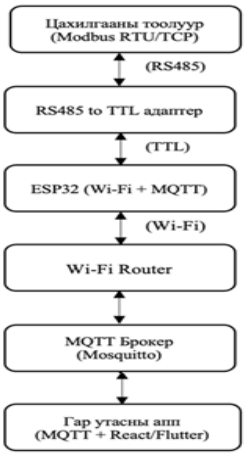
2-р зураг. Тоолуураас параметр унших төхөөрөмжийн бүтцийн схем

Энэхүү эрчим хүчний хяналтын ухаалаг системийн шийдэл нь ESP32 микроконтроллерийг ашиглан Modbus RTU протоколтой тоолуураас цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээний өгөгдөл унших, MQTT ашиглан өгөгдлийг сервер рүү илгээж хэрэглэгч гар утас болон түүнтэй адил төстэй төхөөрөмжөөр интернэт сүлжээнд холбогдон өөрийн хэрэглээг хянах юм. Хэрэглэгчийн эрчим хүчний хяналтын ухаалаг системийн бүтцийн ерөнхий схемийг 3-р зурагт үзүүлэв.



3-р зураг. Хэрэглэгчийн эрчим хүчний хяналтын ухаалаг системийн ерөнхий бүдүүвч зураг

Ухаалаг системийн өгөгдөл дамжуулах солилцох дараалыг 4-р зурагт үзүүлэв.



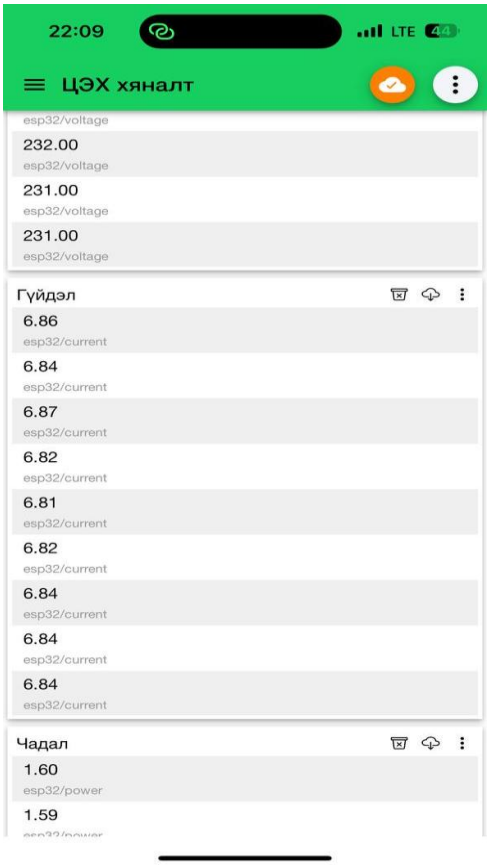
4-р зураг. Өгөгдөл солилцох дараалал

III. Туршилтын үр дүн

Ухаалаг тоолуураас параметрийг бодит цагийн хугацаанд хянах зорилгоор ESP32 хавтанг программчилж RS485 ашиглан тоолуураас хүчдэл, гүйдэл, чадлын утгыг авч гар утаснаас хянаж туршсан туршилтыг 5-р зурагт үзүүлэв.

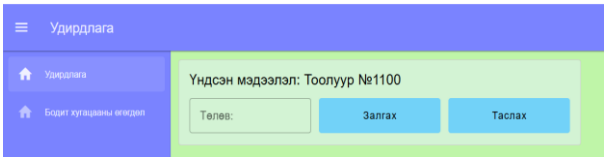
5-р зураг. Хүчдэл, гүйдэл, чадлын утгыг тоолуур болон программ дээр симметр зааж байгааг туршиж буй байдал.

Туршилтаар 1.6 кВт чадалтай ус буцалгагчийг ухаалаг тоолуурт залгаж ажиллуулан параметрүүдийг хянан тоолуурын заалттай тулгаж үзэхэд хэвийн. Гар утаснаас өөрийн хэрэглээг хянах хэрэглэгч талын хяналт мэдээллийн системийн харагдах байдлыг 6-р зурагт үзүүлэв.



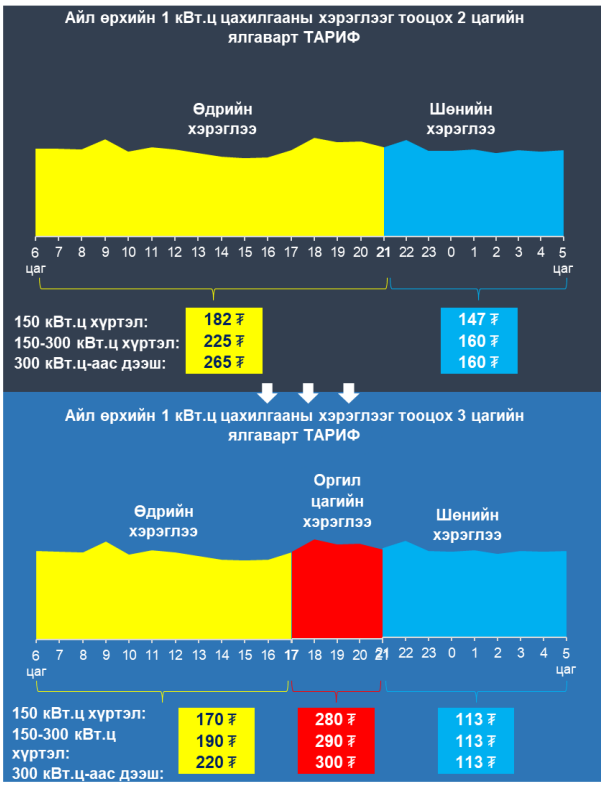
6-р зураг. Хэрэглэгчийн хяналт мэдээллийн систем.

“IoT MQTT панель” буюу гар утасны апликейшн ашиглан гар утаснаасаа ухаалаг тоолуурыг тасалж залгах үйлдлүүдийг хийж үзэхэд хэвийн байна 7-р зурагт үзүүлэв. Мөн тоолуураас параметрийг 5 секунд тутам хянахаар программчилж хянаж үзсэн. Ингэснээр хэрэглэгч нь ухаалаг тоолуураас хэрэглээгээ синхрон буюу бодит цагийн хугацаанд хянах бүрэн боломжтой болж байна. Мөн 0.4 кВ-ын хүчдэлийн түвшинд “0” фаз тасарч гэмтэл гарсан үед фазын хүчдэлүүд шугамын хүчдэл рүү тэмүүлж хэрэглэгчийн цахилгаан хэрэгсэл гэмтдэг үүнээс хамгаалах боломжтой болох бөгөөд мөн хүчдэлийн түвшин хэрхэн өөрчлөгдсөнийг харах боломж бүрдэж байна.



7-р зураг. Тоолуурыг тасалж, залгах удирдлага.

Гар утасны аппликейшний хөгжүүлэлт хийн ажиллаж байна. Хэрэглэгчийн өдөр, оргил, шөнийн цагийн хэрэглээг хоног болон сараар нь гаргах, хэрэглэгч түүнд анализ хийж хэрэглээгээ удирдах, зохих тарифаар үржүүлж хэрэглээгээ тооцож болох боломжийг бүрдүүлэх тал дээр анхаарч хэрэглээний бүтцийг 8-р зурагт үзүүлэв.



8-р зураг. Цахилгааны хэрэглэгчийн хоногийн ачааллыг 2 болон 3 цагийн ялгаварт тарифаар ангилан харуулсан график гар утасны аппликейшн дээр харагдах байдал.

IV. ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ САЛБАРТ ХЭРЭГЛЭГЧИЙН ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ УХААЛАГ СИСТЕМ НЭВТЭРСНЭЭР ГАРАХ ДАВУУ БОЛОН СУЛ ТАЛ

Энэхүү ухаалаг системийг эрчим хүчний салбарт нэвтрүүлснээр дараах давуу талууд бий болно. Үүнд:

Хэрэглэгч талын давуу талууд

- Хэрэглэгч өөрийн хэрэглэж байгаа цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээгээ дурын цагт интернэт сүлжээ ашиглан зайнаас хянах;
- Хэрэглэгч орон байрандаа хүнгүй буюу эзэнгүй байх үед цахилгаан эрчим тасарсныг ухаалаг системээсээ хянаад хангагч байгууллагад мэдэгдэн сэргээлгэх боломжтой болох; (Амралт зугаалгаар явсан үед гэрийн цахилгааны автомат унах, төлбөрөө гэрээнд заасан хугацаанд төлөхөө мартах гэх мэт олон шалтгаанаас болж цахилгаан тасарч хөргөгч хөлдөөгчид байсан хүнсний бүтээгдэхүүн муудах, үүнээс болж санхүүгээр тодорхой хэмжээнд хэрэглэгчид хохирдог)
- Хэрэглээгээ хянах, удирдах боломжтой болох; (Хэрэглэгч өөрийн цахилгааны хэрэглээг бодитоор харж, хэт их хэрэглээтэй үед зарцуулалтаа бууруулах шийдвэр гаргах)
- Зардлаа хэмнэх; (Илүү их цахилгаан хэрэглэж буй төхөөрөмжүүдээ таньж, шаардлагагүй үед унтраах замаар цахилгааны төлбөрөө багасгах)
- Илүү ухаалаг хэрэглээ бий болгох; (Хэрэглэгч хэрэглээнийхээ их болон бага хэрэглээний үеийг ажиглаж, илүү үр ашигтай ашиглах стратеги боловсруулах)
- Цахилгааны хэт ачаалал, доголдлоос сэргийлэх; (Хэт их хэрэглээтэй үед ачаалал ихэсдэг тул тодорхой төхөөрөмжүүдийг унтраах замаар эрсдэлээс сэргийлэх)
- Байгаль орчинд эерэг нөлөө үзүүлэх; (Хэрэглээгээ үр ашигтай удирдах нь эрчим хүчний хэмнэлтэд хувь нэмэр оруулж, хүлэмжийн хийн ялгарлыг бууруулах)

Хангагч байгууллагад гарах давуу талууд

- Эрчим хүчний алдагдлыг бууруулах зүй бус хэрэглээ болон шугамын алдагдлыг илрүүлэхэд хялбар болох;
- Хэрэглэгчид цахилгаан тасарсан эсэхийг автомат мэдэгдлээр мэдээлэх, асуудлыг хурдан шийдэх боломж бүрдэх;
- Техникийн гэмтэл, доголдлыг эрт илрүүлэх; (Хэт ачаалал, шугамын гэмтэл, хэт хүчдэлийн асуудлыг бодит цагийн мэдээллээр хянаж, урьдчилан сэргийлэх боломжтой болох)
- Төлбөр тооцоотой холбоотой өргөдөл гомдол буурах;
- Тоолуурын батарей цэнэггүй болсон үед энэхүү ухаалаг системээс хэрэглээ болон заалтыг нь авах боломжтой болох;

Эрчим хүчний системд гарах давуу талууд

- Хэрэглээгээ хэрэглэгчид синхрон хянаснаар тоолуурын заалтад итгэл үнэмшилтэй болж системийн орлого төвлөрүүлэлт өсөх;
- Оргил ачааллын цагуудад хязгаарлалт хийх чадлын хэмжээ буурах;
- Хязгаарлалт буурснаар хэрэглэгчдээс ирэх өргөдөл гомдол буурах;
- Хэрэглэгчийн хэрэглээний загвар дээр үндэслэн ухаалаг тариф нэвтрүүлэх боломжтой болох;
- IoT, AI, Big Data зэрэг технологиудыг ашиглан эрчим хүчний системийг илүү ухаалаг, өөрөө тохируулагч систем болгох;

Сул тал

- Хүчин чадал өндөр дата серверүүд шаардагдах;
- Кибер аюулгүй байдлын хамгаалалтын системийг сайжруулах;
- Тухайн төхөөрөмжийг нэмэлтээр суурилуулахад тодорхой хэмжээний хөрөнгө мөнгө шаардагдах;

V. Дүгнэлт

Цахилгааны ухаалаг тоолуур тодорхой хэмжээнд нэвтэрч байгаа ч хэрэглэгч талын хяналт мэдээллийн систем орхигдсоор байна. Эрчим хүчний цахилгааны хэрэглэгчдийг хэрэглээгээ тоолуураас тогтмол хянах боломжийг хангахын тулд энэхүү судалгааны ажлыг гүйцэтгэсэн. Уг ухаалаг системийг хэрэглэгч ашигласнаар гар утас болон түүнтэй адил төстэй төхөөрөмжөөр өөрийн эрчим хүчний хэрэглээг дурын хугацаанд хянах боломжтой болсон. Хангагч байгууллага нь энэхүү төхөөрөмжийг ашиглан ухаалаг тоолуурыг зайнаас тасалж, залгах, өдөр, хоног, сарын хэрэглээний заалтыг авах боломж бүрдсэнээр ухаалаг тоолуураас мэдээлэл авах сувгийн нөөц суваг болж чадсан. Хэрэглэгчийн цахилгааны хэрэглээг өдөр, оргил, шөнийн хэрэглээгээр нь ангилан хэрэглэгчид харуулж чадсанаар хэрэглэгч нь зохих үнэ тарифаар үржүүлэн өөрийн төлөх цахилгаан эрчим хүчний төлбөрийг гаргах боломж бүрдэж байна. Цаашид энэхүү хэрэглэгчийн цахилгаан эрчим хүчний хяналтын ухаалаг системийг хөгжүүлж хэрэглэгчид өргөн цар хүрээтэй үйлчилгээ үзүүлэх цогц нэг программ хангамж бий болох боломжтой гэж дүгнэж байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] B. S. Koay *et al.*, “Design and implementation of Bluetooth energy meter,” in *Fourth International Conference on Information, Communications and Signal Processing, 2003 and the Fourth Pacific Rim Conference on Multimedia. Proceedings of the 2003 Joint*, 2003, vol. 3, pp. 1474–1477 vol.3.

[2] T. Matt, M. Schappacher, and A. Sikora, “Development of a web-based monitoring device for the wired Metering Bus (M-Bus) as defined in EN13757-3,” in *2015 International Conference on Smart Grid and Clean Energy Technologies (ICSGCE)*, 2015, pp. 187–194.

[3] “Development of an Internet based prepaid energy meter - IEEE Conference Publication.” [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/8095681. Accessed: 15-Feb-2019.

[4] B.A.Siddiqui, P.Pakonen, and P.Verho, “Experience of communication problems in PLC-based AMR systems in Finland,” in *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies, Europe*, 2014, pp.1.-6.

[5] T.Karthick, K.Chandrasekaran - Sustainable Energy, “Design of IoT based smart compact energy meter for monitoring and controlling the usage of energy and power quality issues with demand side management for a commercial building” Grids and Networks, 2021 – Elsevier

[6] MI El-Afifi, BE Sedhom, AA Eladl, M Elgamal… - Results in …, “Demand side management strategy for smart building using multi-objective hybrid optimization technique” 2024 – Elsevier

[7] AV PăLăcean, DC Trancă, RV Rughiniș, D Rosner “Smart Internet of Things power meter for industrial and domestic applications” Applied Sciences, 2024 - mdpi.com

[8] VS Kumar, S Parameswari, SC Raja, T Karthick “Real-time implementation of an IoT-based intelligent source allocation system using machine learning technique in a commercial building” Electrical Engineering, 2024 - Springer

[9] P Yefi, RP Menon, U Eicker… - IEEE Internet of Things …, “Metamenth: A object-oriented metamodel for iot systems in buildings” 2024 - ieeexplore.ieee.org

[10] М.Цолмон, Б.Бат-Эрдэнэ, Б.Билгүүн, Г.Өлзийбадрах, С.Батсуурь “Цахилгаан тоолуурын мэдээлэл цуглуулах, протокол хөрвүүлэх төхөөрөмжийн техник хангамжийн судалгаа”

ТҮГЭЭХ СҮЛЖЭЭНИЙ ХЭТ АЧААЛАГДСАН ТОНОГЛОЛЫН СУДАЛГАА

Баттөрийн ӨЛЗИЙБААТАР[1*] Баатарын БИЛГҮҮН[2]

Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Цахилгааны инженерийн салбар

**Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: ulziibaatar0626@gmail.com*

Хураангуй: **Энэхүү судалгаанд Улаанбаатар хотын цахилгаан түгээх сүлжээн дэх дэд станцын тоноглолуудын найдвартай ажиллагааг хангах зорилгоор ачааллын судалгааг авч үзсэн болно. Хэрэглэгчдийн тоо өдрөөс өдөрт нэмэгдэж байгаа, гэмтэл болон тасралтын тоогоороо түгээх сүлжээ нь эрчим хүчний системийн тулгамдаж буй асуудлуудын нэг болсоор байна. Судалгаа нь 10/0.4-6/0.4кВ-ын 7583 дэд станцын нийт 8837 трансформатор 5116 хороо гаргалгын дамжуулагч 1524 трансформаторын оруулга кабелийн ачааллын мэдээллийг авч хэт ачаалагдсан тоноглолын судалгааг боловсруулсан. "Улаанбаатар цахилгаан түгээх сүлжээний" 2024-2025 оны ӨИАХ-ийг нэгтгэн дүгнэх, тус судалгаагаар үндэслэж эрх жилүүдийн дэд станц, болон хороо гаргалгын ачааллыг бууруулах хөнгөлөх зорилготой.**

Түлхүүр үг: ***Дэд станц, ачаалал, хороо гаргалга, тасралт***

I. УДИРТГАЛ

Эрчим хүчний салбар нь тасралтгүй найдвартай ажиллагааг хангаснаар тухайн орны хөгжил болон эдийн засгийн үр ашгийг нэмэгдүүлэх тухайн орны хөгжлийг илтгэдэг чухал салбар болсон билээ. Гэвч манай орны хувьд түгээх сүлжээний тоноглолууд хэт ачаалагдсан, гэмтэл тасралтууд буурахгүй байна. Цахилгаан түгээх сүлжээ нь янз бүрийн эрчим хүчний үүсвэрээс хэрэглэгчдэд цахилгаан эрчим хүчийг эцсийн байдлаар хэрэглэгчдэд түгээдэг чухал байгуулга юм [5].

Түгээх сүлжээ дэх хэт ачаалал нь хамгаалалтын системийн доголдол болон сүлжээний тасралт үүсгэдэг бөгөөд энэ нь ихэвчлэн урьдчилан таамаглах боломжгүй байдаг [6].

Улаанбаатар хотын хувьд тулгамдаж буй асуудал бол агаарын бохирдол энэ шалтгааны ихэнх хувь нь гэр хорооллын галлагаанаас үүсч буй утаа эзэлдэг. Гэр хорооллын айл өрхүүдэд өдөр шөнийн тарифын тоолуурtай болсноор төлбөрийн хөнгөлөлтөнд хамрагдаж гэр хорооллын айл өрх ердийн галлагаанаас цахилгаан халаагуурт ихээр шилжиж байгаа бөгөөд түгээх сүлжээний ачааллыг энэ чинээгээр нэмэгдүүлж байна. Түгээх сүлжээний хувьд өмнөх жилүүдтэй харьцуулахад гэмтлийн тоо буурахгүй байгаа нь дутуу түгээлтийг нэмэгдүүлж байна. Хэрэглэгчийг тасралтгүй найдвартай эрчим хүчээр хангагдах бололцоог энэ судалгаанаас авч үзнэ. Тухайн тоноглолын тасралтгүй найдвартай байдлыг хангахын тулд гэмтлийг урьдчилан илрүүлж устгах, ачааллыг тогтмол хянаснаар тоноглолын найдвартай ажиллагааг хангаж хэрэглэгчийн сэтгэл ханамжийг нэмэгдүүлэх чухал үр нөлөөтэй. Энэхүү судалгаанд хэт ачааллыг судалснаар түгээх сүлжээний тасалдлыг тооцоолох боломжтой болох юм [6].

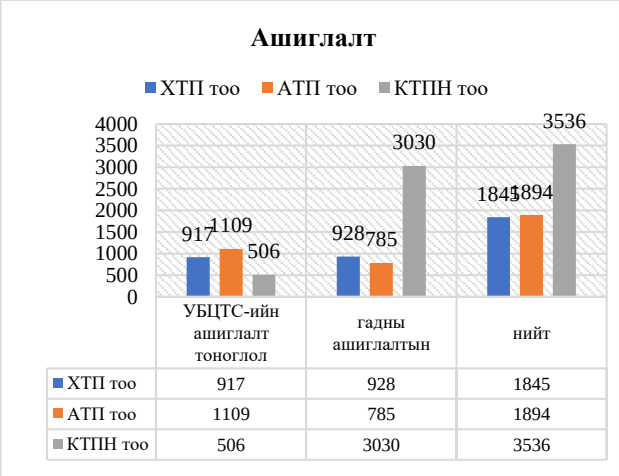
II. 10,6/0.4кВ ДЭД СТАНЦЫН АЧААЛЛЫН СУДАЛГААНЫ ХАМРАХ ХҮРЭЭ

УБЦТС ТӨХК нь нийслэлийн 8 дүүрэг, Төв аймгийн 16 сумын 490 мянган хэрэглэгч буюу Монгол Улсын нийт хүн амын 50 орчим хувийг цахилгаан эрчим хүчээр хангадаг [1].

АШИГЛАЛТЫН ТООН ҮЗҮҮЛЭЛТ

1-Р ХҮСНЭГТ

Үзүүлэлтийн нэр	*Хэмжих нэгж*	*УБЦТС-ийн ашиглалт тоноглол*	*Гадны ашиглалтын*	*нийт*
ХТП	Тоо	917	928	1845
АТП	Тоо	1109	785	1894
КТПН	Тоо	506	3030	3536
Нийт станц	Тоо	2532	4743	7275
0.4Кв ЦДАШ-ын урт	км	2231.203		



1-р зураг Ашиглалтын тоон үзүүлэлт

Мэдээлэл сангийн мэдээллээр харвал УБЦТС-ТӨХК ний 6-10/0.4-кВ-ийн дэд станцыг чадлаар нь ангилбал

ТРАНСФОРМАТОРЫН ЧАДЛААР АНГИЛБАЛ

2-Р ХҮСНЭГТ

№	*Трансформатор кВА*	*Дэд өртөөний тоо*
1	100	42
2	160	195
3	250	454
4	400	1234
5	630	733
6	800	479
7	1000	42
8	1250	5
9	1600	5

2-р хүснэгтийг дүгэнвэл 400 кВА ТР хамгийн ихээр ашигладаг байна.

0.4 кВ Дэд станцын хороо гаргалгын түгээмэл дамжуулагчаар ангилбал:

ДАМЖУУЛАГЧИЙН АНГИЛБАЛ

3-Р ХҮСНЭГТ

№	Дамжуулагчийн марк	*Хороо гаргалга нийт тоо*
1	СИП-2 3*35+1*54,6	451
2	СИП-2 3*50+1*54,6	1279
3	СИП-2 3*70+1*54,6	1304
4	АВВГ 3*70+1*35	179
5	АВВГ 3*120+1*70	441
6	АВВГ 3*150+1*95	364
7	АВВГ 3*185+1*95	298
8	АВВГ 3*240+1*120	557

*3-р хүснэгтийг дүгэнвэл СИП-2 3*70+1*54,6 Дамжуулагчийг ихээр ашигладаг байна.*

Дэд станцын ачааллын мэдээг авах Улаанбаатар хотын баруун 3-н дүүргийн хамрах хүрээ

2-р зураг ачааллын мэдээ авах баруун 3-н дүүрэг

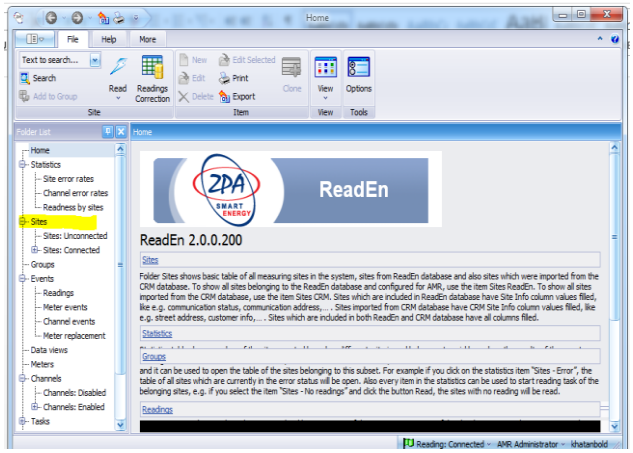
Дэд станцын ачааллын мэдээг авах Улаанбаатар хотын зүүн 3-н дүүргийн хамрах хүрээ.

3-р зураг ачааллын мэдээ авах зүүн 3-н дүүрэг

III. 10,6/0.4кВ ДЭД СТАНЦЫН ХЭМЖИЛТИЙН ҮР ДҮНГ НЭГТГЭХ

Ачааллын хэмжилтийг 2024-2025 оны 12-р сарын 8наас 12-р сарын 28ны дуустал нийт 8837-н трансформатор 3279-н хороо гаргалгааны хэмжилтийн мэдээллийг нэгтгэв. Хэмжилтийг гүйцэтгэхдээ УБЦТС-ТӨХК ний өмчийн АТП, КТПН хийцлэлийн дэд өртөөний ачааллын хэмжилтийг инженер техникийн ажилтан засварын монтёрийн хамт бригадын бие бүрэлдэхүүн болж хэмжилтийг хийж гүйцэтгэсэн. Харин ХТП-ний хувьд readEn-2 программаар хэмжилтийн мэдээллийг нэгтгэв [2,3].

ReadEn 2 программ нь дэд станцын ачаалал болон хүчдэлийн түвшний мэдээлэл харах зориулалттай.



4-р зураг readEn2 программ

Хугацааг сонгох олон тооны дэд өртөөнүүдийн мэдээллийг нэг дор авах давуу талтай HES ухаалаг систем юм [7]. Энэ системээр нийт 2000 гаруй трансформаторын мэдээллийг татаж боловсруулав.

Ачааллын мэдээг нэгтгэж дуусаны дараа тоноглолын зөвшөөрөгдөх ачааллын мэдээтэй харьцуулалт хийсэн.

3-н фазын 10/0.4 кВ трансформаторын зөвшөөрөгдөх гүйдлийг олохын тулд дараах тооцооллыг хийх шаардлагатай.

Зөвшөөрөгдөх гүйдлийг олох:

1. Трансформаторын хүчин чадал (S)
2. Трансформаторын хүчдэл:

- Өрхийн (анхдагч) талын хүчдэл: 10 кВ (10,000

- 6Кв (6000 В)
- Гаралтын нам талын хүчдэл: 0.4 кВ (400 В)

3. **Гүйдлийн томьёо:**

Гүйдлийг олохын тулд дараах томьёог хэрэглэнэ:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3 \times V}} \qquad (1)$$

Энд: S-Трансформаторын хүчин чадал (кВА)

V- хүчдэл (вольт)

$\sqrt{3}$-Тригеном?трийн коэффициент (1.732)

4**.** Зөвшөөрөгдөх гүйдлийг олох:

Жишээ 160 кВА Трансформаторын хувьд гаралтын 0.4Кв нам талд

$$I = \frac{16000}{1.732 \times 400} = \frac{160000}{692.8} = 230.9 \text{ Ампер}$$

Анхдагч талын гүйдэл (10 кВ тал):

$$I = \frac{16000}{1.732 \times 10000} = \frac{160000}{17320} = 9{,}24 \text{ Ампер}$$

5.Ур дүн:

- **Гаралтын талын (0.4 кВ) зөвшөөрөгдөх гүйдэл**: 230.9 ампер
- **Анхдагч талын (10 кВ) зөвшөөрөгдөх гүйдэл**: 9.24 ампер

ЦАХИЛГААН ДАМЖУУЛАГЧИЙН ЗӨВШӨӨРӨГДӨХ ГҮЙДЭЛ

4-Р ХҮСНЭГТ

Д/д	*кабелийн марк хөндлөн огтлол*	*Зөвшөөрөгдөх ачаалал*	*Орчны температур -5С буюу доош*
1	АВВГ 3*240+1*120	369	476
2	АВВГ 3*185+1*95	313	404
3	АВВГ 3*150+1*95	273	352
4	АВВГ 3*120+1*70	236	304
5	АВВГ 3*95+1*50	204	263
6	АВВГ 3*70+1*35	167	215
7	АВВГ 3*50+1*25	136	175
8	АВВГ 3*35	113	146
9	АВВГ 3*25	92	119
10	АВВГ 3*16	82	106
11	СИП-2 3*70+1+54.6	210	
12	СИП-2 3*50+1+54.6	165	
13	СИП-2 3*35+1+54.6	130	
14	СИП-25	100	
15	СИП-16	95	

IV. 10,6/0.4 кВ ДЭД СТАНЦЫН ХЭМЖИЛТИЙН ҮР ДҮН

Нийт дэд станцын хэмжилтийг оргил ачааллын үед буюу 19-22 цагийн хооронд хэмжилт хийв. Ингэхдээ ТР-ын чадал, гүйдлийн ТР марк, станцын хороо гаргалга, ТР-ын оруулга кабель, болон хөндлөн огтлолын мэдээллийг давхар бүртгэв.

Хэмжилтийн мэдээг боловсруулсны үндсэн дээр Трансформаторуудын ачаалсан хувиар нь ангилбал.

ДЭД СТАНЦЫН АЧААЛЛЫН ХУВЬ

5-Р ХҮСНЭГТ

№	*Ачааллын хувь*	*УБЦТС ТӨХК*	*Гадны*
		2024-2025	*2024-2025*
1	100%-аас дээш	32	59
2	90%-99%	68	24
3	80%-89%	149	41
4	70%-79%	258	61
5	60-69%	339	99
6	0-59%	3941	8508
	Нийт	4798	8837

5-р хүснэгтийг дүгнэвэл хувийг дэд станцууд улсын станцуудаас ачаалагдаж байна.

ДЭД ӨРТӨӨНИЙ ХОРОО ГАРГАЛГА ТРАНСФОРМАТОРЫН ОРУУЛГА КАБЕЛЬ

6-Р ХҮСНЭГТ

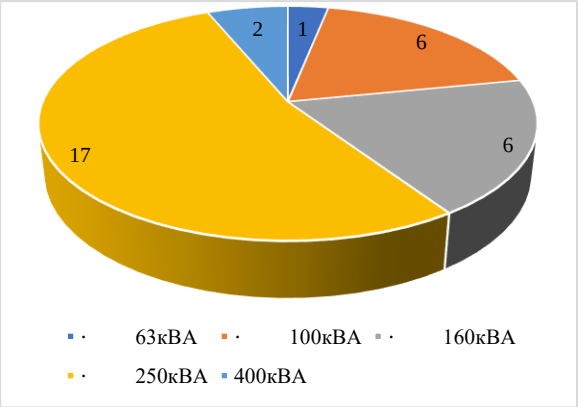
№	*Ачааллын хувь*	*ТР-оруулга кабель*	*Хороо гаргалгын СИП*
		2024-2025	*2024-2025*
1	100%-аас дээш	50	178
2	90%-99%	48	162
3	80%-89%	71	170
	Нийт	169	510

Судалгаанаас 100%-с дээш ачаалагдсан трансформаторыг чадлаар нь ангилбал :

УБЦТС-ТӨХК-ны өмчийн дэд станц

- 63кВА трансформатор 1
- 100кВА трансформатор 6
- 160кВА трансформатор 6
- 250кВА трансформатор 17

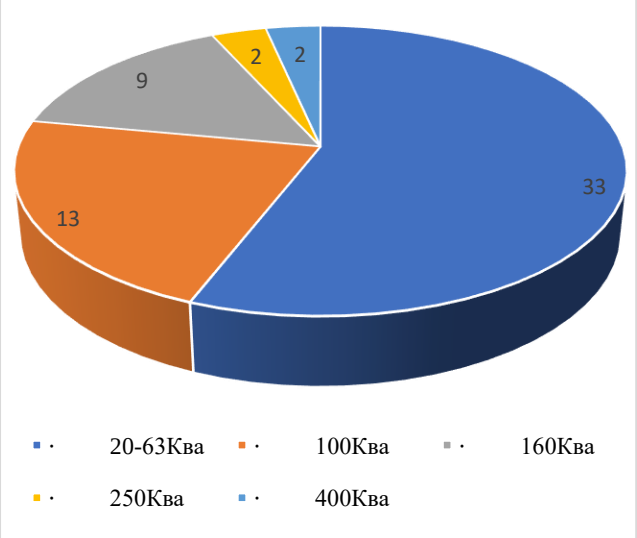
- 400кВА трансформатор 2



5-р зураг 100%-с дээш ачаалагдсан трансформатор

Гадны ашиглалт, буюу хувийн эзэмшлийн дэд өртөө

- 20-63кВА трансформатор 33
- 100кВА трансформатор 13
- 160кВА трансформатор 9
- 250кВА трансформатор 2
- 400кВА трансформатор 2



6-р зураг 100%-с дээш ачаалагдсан трансформатор

V. Хэт ачаалагдсан тоноглолд авах арга хэмжээнүүд

Хэмжилт туршилтаар гарсан үр дүнг үндэслэн хэт ачаалагдсан тоноглолын ачаалал бууруулах болон чадал ахиулах шаардлагатай байна. Иймээс тухайн ачаалагдсан тоноглолын хэрэглэгчийн судалгаа болон ачаалал шилжүүлэх боломжийг судалсны үндсэн дээр чадал ахиулах арга хэмжээ авах

Трансформаторын фазын ачаалал хэт зөрүүтэй буюу ачаалал тэнцүүлэх боломжтой дэд станцууд

- АТП-1767 250кВА а-фаз 283 б-фаз 204 с-фаз 372А
- АТП-2121 10/0.4кВ 250кВА а-фаз 237 б-фаз 370 с-фаз 252А
- АТП-4825 10/0.4кВ 100кВА а-фаз 171 б-фаз 98 с-фаз 67А
- АТП-1896 10/0.4кВ 250кВА а-фаз 468 б-фаз 231 с-фаз 297А
- АТП-3645 10/0.4кВ 160кВА а-фаз 203 б-фаз 119 с-фаз 248А

Трансформаторын чадал ахиулах шаардлагатай ачаалал хөнгөлөх боломжгүй дэд өртөөнүүдийн

29 дэд өртөөний трансформаторын чадал ахиулах шаардлагатай үүнээс хамгийн түгээмэл ачаалагдаж байгаа трансформатор нь:

- 160 кВА трансформаторыг 250 кВА болгох 5-н дэд станц
- 250 кВА трансформаторыг 400 кВА болгох 16-н дэд станц

VI Дүгнэлт

Хэрэглэгчийн цахилгаан хангамжийн найдвартай байдлыг хангахын тулд өвлийн их ачааллын хэмжилтийг зохион байгуулах нэн шаардлагатай. Тухайн хэмжилтүүдийг хэрэглээний оргил цагийн үед хэмжилт хийснээр тухайн тоноглол, дамжуулагчийн хамгийн өндөр ачааллыг нэгтгэн дүгнэв. Хэмжилтийн үр дүнг харвал алслагдсан хүн ам нягтаршил их гэр хорооллын бүсэд дэд өртөөний шугам тоноглол илүүтэй ачаалагдаж байна. Энэхүү судалгааг хийснээр хэт ачааллын оргил цаг, тасалдлыг тооцоолох боломжтой болов.

Ашигласан материал, ном зүй

[1] https://resource4.sodonsolution.org

[2] АЗБТ ШҮХ горим тооцооны инженерийн ӨИАХ-ийн мэдээ

[3] АЗЗТ ШҮХ горим тооцооны инженерийн ӨИАХ-ийн мэдээ

[4] Shcherbak, I. (2019). Mathematical model of consumer regulators management for alignment of electric load graphs of transformer substation 10/0.4 kV. Lighting Engineering & Power Engineering, 3(56), 125-129.

[5] Mendoza, J. E., López, M. E., Pena, H. E., & Labra, D. A. (2012). Low voltage distribution optimization: Site, quantity and size of distribution transformers. Electric Power Systems Research, 91, 52-60.

[6] Ismail, A. G., El-Dabah, M. A., & Nassar, I. A. (2020). Enhancement of electrical distribution networks performance using the load management methodology. Energy Reports, 6, 2066-2074.

[7] УБЦТС ХК ТХХА readEn2 системтэй ажиллах зааварчилгаа

ФЛЮРЕСЦЕНЦ АППАРАТЫН ТОХИРГООНЫ ТАВИЛААР ДҮРСЛЭЛИЙН ЧАНАРЫГ САЙЖРУУЛАХ БОЛОМЖИЙН СУДАЛГАА

Дэлгэрбаярын ЦЭРЭНДУЛАМ[1], Мягмаржавын БУМБАТ[2]
Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Цахилгаан техникийн салбар
**Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг:[1]ukadelgerbayar@gmail.com*
[2]boka.bumbat@must.edu.mn

***Хураангуй*: Хорт хавдар дэлхийд тэргүүлдэг хүнд хэлбэрийн өвчлөлүүдийн нэг билээ. Хавдрыг тайран авах болон хамгийн эхэнд үсэрхийлдэг харуулын булчирхайг түүх мэс засал нь үр дүнтэй эмчилгээнд ордог. Флюресценц аппаратыг индоцианин ногоон тодосгогч бодисын хамт ашигласнаар тус мэс заслуудыг бодит цаг дээр хийх боломжийг олгож байна. Инфра улаан туяа ашигладаг флюресценц төхөөрөмж шинэ технологи тул эмчилгээ үйлчилгээнд, мэс ажилбарт ашиглах төрөл болон үр дүнгийн мэдээлэл хязгаарлагдмал байгаа тул мэс заслын чиглүүлэгчээр ашиглаж, флюресценц аппаратын дүрслэл дэх чанарыг сайжруулах, төхөөрөмжийн тохиргоог зөв тавилд тохируулах зорилготой байна. Тус төхөөрөмж дээр ирэх дохио болон дохио ба шуугианы харьцаа (Signal noise ratio, SNR)-ийг гаргаж хөхний эдэн дээр туршиж үзэн дүрслэлийн мэдрүүрийн, лазер тохиргоо, филтер тохиргоо, үүсвэрийн тохиргоо дээрх тохиромжтой тавилыг олоход оршино. Лазер болон дараах тохиргоонуудыг өөрчлөн дохио ба шуугианы харьцааны тоон утгыг гаргахад тоон утга өөр хоорондоо төстэй байгаа боловч, хөхний эд дээр харах үед долгионы урт лазер дүрслэлийг буулган харж байна. Түүнээс гадна гэрлийн шарлагын хугацаа (exposure time), өсгөлт (gain) зэрэг утгаар дохиог өсгөх, дүрслэлийн мэдрүүрийг (image sensor) бүрэн нээх зэргээр төхөөрөмж дээр ирэх дохиог нэмэгдүүлснээр илүү гүнд байрлах эд , бүдэг харагдаж байгаа дүрсийг тодруулах боломжтой байна.**

Түлхүүр үг: мэс засал, инфра улаан туяа, тохиргоо, аппаратын үндсэн бүтэц, флюресценц үзэгдэл, дохио ба шуугианы харьцаа, өсгөлт, филтер.

I. УДИРТГАЛ

Дэлхийд үхэлд хүргэдэг өвчлөлүүдээс хорт хавдар нь өндөр үзүүлэлттэй хэвээр байна. Үүнийгээ даган хорт хавдрын оношилгоо болон эмчилгээний техник технологи хөгжсөөр байна. Одоогийн байдлаар хорт хавдрыг эмчлэх аргууд дундаас хавдартай хэсгийг авах мэс заслын эмчилгээний арга хамгийн үр дүнтэй аргад тооцогдож байна. Эмчилгээ үйлчилгээ, техник технологи хөгжиж байгаа боловч, хорт хавдрын өвчнийг бүрэн эдгээх нь хүндрэлтэй хэвээр байна.

Флюресценц аппарат нь хэт улаан туяа-I (NIR-I, Near infrared-I) болон хэт улаан туяа-II (NIR-II, Near infra red-II) гэсэн хоёр төрлийн оптик мужийг өөртөө агуулдаг. NIR-I-тэй харьцуулахад хоёр дахь NIR цонхны оптик дүрслэл (NIR-II, 1000-аас 1700 нм хүртэл) технологи нь автофлюресценц багатай, дохио-дуу чимээний харьцаа өндөр, эд эсийн нэвтрэлтийн гүн, стоксын шилжилт ихтэй. Сүүлийн үед энэхүү технологи нь ихээхэн анхаарал татаж байна. Богино долгионы хэт улаан туяа (Short-wavelength infrared-SWIR) нь хавдрын мэс заслын чиглүүлэгчээр ашиглахад гол үүрэг гүйцэтгэж байгаа ба эдийн гүнд нэвчих, эдийн шингээлт бага, гэрлийн сарнилт, автофлюресценц бага гэдгээрээ NIR-I-ээс давуу талтай юм [9]. Индоцианин ногоон тодосгогч бодис нь хавдар болон үсэрхийлсэн харуулын булчирхайг үр дүнтэй тодорхойлдог нь батлагдсан бөгөөд Хүнс болон Эмийн Захиргаа (Food and Drug Administration, FDA) болон Европын эмийн агентлагаас зөвшөөрөл авсан [11]. Флюресценц төхөөрөмж нь индоцианин ногоон тодосгогч бодисын (хамтаар хорт хавдрын эдийг нарийвчлалтай ялгадаг шинж чанараас болж флюресценц аппаратыг мэс заслын чиглүүлэгчээр ашиглах тоо нь ихэссээр байна [1]. Хэдий тийм боловч флюресценц эдийн аппарат нь гадны нөлөөнөөс болж хавдрын эдийг эрүүл эдээс ялгахгүй байх, хариуг буруу гаргах, илүү тод харах зорилгоор хүчийг нь хэт нэмснээс болж байх ёстой хэмжээнээсээ илүү тодотголтой харагдах магадлалтай байна. Иймээс энэ судалгаанд төхөөрөмжийн тохиргоог зөв тавилд тохируулах, NIR-I мужийн 404нм, 660нм, 785 нм, 808нм долгионы урттай лазерууд дүрслэлд хэрхэн нөлөөлж буйг судлахыг зорьсон.

II. ОНОЛЫН ҮНДЭС

А. Флюресценц явагдах үзэгдэл

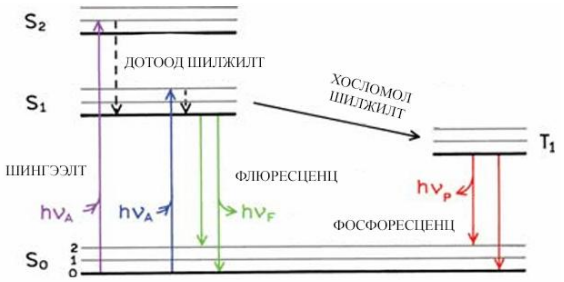
Флуорофорийн молекулын электрон гэрлийн долгионы чичирхийлэлтэй цахилгаан орны вектортой харилцан үйлчлэлд орсноор, фотоны энергийг өөртөө шингээж авдаг. Фотоны онол ёсоор гэрлийн урсгал хязгааргүй олон тооны фотоноос тогтоно. Фотоны энерги зөвхөн квантлагдсан давтамж (hv)-аас хамаарна. Гэрлийн эрчим нэгж хугацаанд цацагдах фотоны энергиэс бус тооноос хамаарна. Хангалттай энерги бүхий фотоныг шингээх эгшинд электрон чөлөөлөгдөнө. Харин бага энергитэй фотонуудаас энерги дараалан хуримтлуулах замаар электроны шилжилт болохгүй [2]. Шингээсэн фотоны энерги электроны шилжилтэд шаардагдах энергиэс хамаагүй их энерги агуулж байх тохиолдолд, илүүдэл энерги чичирхийлэл, эргэлтийн энерги болж хувирдаг. Харин фотоны энерги электроны шилжилтэд хүрэлцэхээргүй энергитэй

байвал, шингээлт/өдөөлт явагддаггүй. Флуорофорийн молекул үндсэн төлөвөөсөө (S0) гарч өндөр энергитэй өдөөгдсөн төлөв (S1) рүү шилждэг. Өдөөгдсөн төлөв тогтворгүй байдаг тул электронууд хурдан анхны энергийн түвшин рүүгээ шилждэг. Электронууд хэд хэдэн төрлөөр энергиэ гадагшлуулдаг:

1. Цацрагийн бус квант шилжилт: Энэ нь дотроо гурван төрөл байдаг. Дотоод шилжилт, хосолмол шилжилт болон чичирхийлэлт. Чичирхийлэлт рүү шилжсэн тохиолдолд молекулын шингээсэн фотоны энерги нь кинетик энерги болж хувирдаг. Кинетик энерги нь энэ молекульдээ үлдэх эсвэл өөр өдөөгдсөн төлөвт орсон молекул руу орох боломжтой байдаг. Дотоод шилжилтэд электроны энерги багасаж хамгийн бага синглетийн түвшинд хүрдэг. Хосолмол шилжилтэнд өдөөгдсөн электроны синглет төлөвөөс өдөөгдсөн триплет төлөв рүү шилждэг.

2. Флюресценц: Молекул фотоноос авсан энергиэ фотон болгож гадагшлуулах явцыг флюресценц гэнэ. Хамгийн бага синглет түвшнээс үндсэн төлөв рүү шилжих явцад бий болдог. Флюресценц аргаар гадагшилсан фотон молекулыг өдөөсөн фотоноос бага энергитэй байдаг

3. Фосфоресенц: Триплет түвшнээс үндсэн төлөв рүү шилжих явцад бий болдог [5].



1-р зураг. Яблонскийгийн диаграм [5].

Флюресценц фосфоресценц аргаар гадагшилсан фотоны цацаргалтыг квантаар хэмжих ба энергийг Планкийн хуулийн томьёогоор илэрхийлбэл:

$$\boldsymbol{E = h\nu = hc/\lambda}$$

E - цацаргалтын энерги, v-долгионы давтамж h-Планкийн тогтмол λ- долгионы урт c- гэрлийн хурд

Планкийн хуульд шингээж авсан фотоны цацаргалтын энерги долгионы давтамжтай шууд пропорциональ, долгионы урттай урвуу пропорциональ байдаг. Өөрөөр хэлбэл долгионы урт богино байх тусам энерги ихтэй байна гэсэн үг [6].

B. Инфра улаан туяа

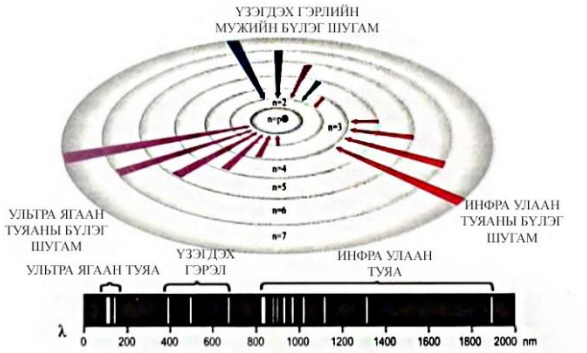
Гэрэл рентген туяа, радио долгион, микродолгионы нэгэн адил цахилгаан соронзон цацаргалтын нэг хэлбэр юм. Цахилгаан соронзон цацаргалтын бүх хэлбэрүүд нь хэлбэлзэж буй цахилгаан болон соронзон орон нэгэн зэрэг орон зайгаар хөдөлсний үр дүнд үүсэх долгионы урсгал байдаг.

Цахилгаан соронзон цацаргалт нь хамгийн богино долгионы урт, хамгийн өндөр давтамж бүхий гамма туяанаас эхлэн хамгийн урт долгионы урт, хамгийн бага давтамж бүхий радио долгион хүртэл спектрийн үргэлжилсэн мужийг үүсгэнэ [2].

1) Атом дахь электрон өдөөгдсөн төлөв байдлаас үндсэн төлөвт (n=1) шилжих үед, Лайманы бүлэг шугам үүсэх бөгөөд энэ бүлэг шугамыг *ультра ягаан туяаны муж* гэнэ.

2) Энергийн өдөөгдсөн төлөвөөс хоёр дахь энергийн түвшинд (n=2) электрон шилжих үед, Бальмерийн бүлэг шугам үүсэх бөгөөд *үзэгдэх гэрлийн муж* гэж нэрлэнэ.

3) Өдөөгдсөн төлөвөөс n=3 энергийн түвшинд электрон шилжих үед, Пашены бүлэг шугам үүсэх бөгөөд *инфра улаан туяаны муж* гэж нэрлэнэ.



2-р зураг. Спектрийн гурван бүлэг шугам үүсэх Борын загвар [2].

Атомын спектрийн нэг бүлэг шугам бүрт спектр шугамуудын хоорондын зай бага байснаа ихсэх тархалтын адилхан төрх давтагддаг. Энэ нь атомын энергийн түвшний тоо (n) олшрохын хэрээр энергийн түвшин хоорондын энергийн ялгаа (ΔE) өөрчлөгддөгтэй холбоотой байдаг.

C. Флюресценц дүрслэлийн төхөөрөмж

Флюресценц дүрслэлийн төхөөрөмжид дараах үндсэн бүрэлдэхүүнтэй байдаг:

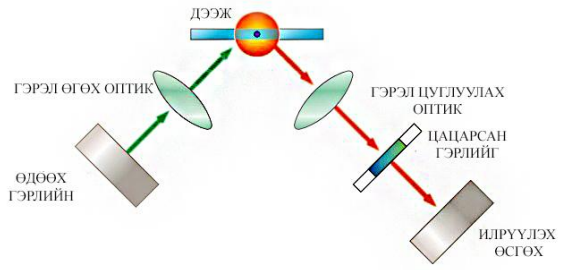
1) Гэрлийн үүсвэр болон гэрэл өгөх оптик: Гэрлийн үүсвэр үндсэн хоёр төрөлд хуваагддаг. Өргөн талбай болон өргөн долгионо үүсвэр. Өргөн долгионо үүсвэрийг флюресценцийн спектрометер, камертай дүрслэлийн төхөөрөмжүүд дээр түлхүү ашигладаг. Лампаас гарах спектр өргөн байдаг тул филтер, грэйтин ашиглаж нарийн шугам гаргана. Ихэнх камерын системтэй төхөөрөмж дээжийг байрлуулсан харах талбарыг тэр чигт нь тусгаж өдөөдөг бол, лазер дээр суурилсан дүрслэлийн системүүд толин тусгал, линзээс бүрдсэн байдаг ба илүү боловсронгуй оптик арга ашигладаг бөгөөд өдөөгч цацраг шууд дээж рүү чиглэдэг. Өдөөлтийн цацрагийг дээж рүү чиглүүлэхээсээ өмнө лазер гэрлийг шүүдэг.

2) Гэрэл цуглуулах оптик: Оптик филтер олон шилэн элементийн ламинатаар хийгдсэн байдаг. филтерийг өөр өөр долгионы урттай гэрлийг шингээх эсвэл ойлгохоор бүрж хийдэг.

3) Цацарсан гэрлийг шүүх: Флуорофороос цацарсан фотон бүх чиглэлд цацагддаг боловч дээжийн нэг талаас нь л цуглуулдаг. Дээжээс ойж гарсан, тархсан лазерын гэрлийг оптик филтерүүд цуглуулдаггүй. Мөн хэрэглэгчийн хүссэн долгионы уртыг л шүүж авна.

4) Илрүүлэх, өсгөх, дижитал хэлбэр лүү шилжүүлэх: Цацарсан гэрлийг илрүүлэх, хэмжихэд PMT (Photomultiplier tube), CCD (charge-coupled device) ашигладаг. Флюресценцээс гарсан фотоны энерги цахилгаан энерги рүү хувирч, улмаар илрүүлсэн фотоны тоотой пропорциональ хэмжигдэхүйц дохио үүсгэдэг.

Цацарсан гэрлийг илрүүлж, өсгөсний дараа PMT CCD-ээс гарах аналог дохио дижитал дохио болж хувирна [3].



3-р зураг. Флюресценц аппаратын үндсэн бүтэц бүрэлдэхүүн.

D. Флюресценцийг илрүүлэх

1) Гэрлийн үүсгүүрийн гэрэл өдөөгч монохрамотор луу орно. Монохрамотор нь хүссэн долгионы уртыг гаргадаг. Үүний дараа монохратороос гарсан туяа дээж рүү тусаж, дээж флюресценц явагдана. Цацаргалтын хүч нь бүх чигт адилхан байдаг. Үүнийх нь үр дүнд цацаргалтын фотоныг өдөөсөн фотоноос ялгахад амар болдог. Детектороо 90º градустай байрлуулна. Ингэснээр зөвхөн цацаргалтын фотоныг хүлээж авдаг. Флюресценцээр гарсан фотон цацаргалтын монохроматороос дамжина. Үүний дараа фотоны хүчийг детектор хэмжинэ.

E. Флюресценц дүрслэлд нөлөөлөх хүчин зүйлс

Флюресценц дүрслэл нь эдийн шингээлтээс хамаардаг ба флюресценц дохиог хүлээж авах үйл явц нь фотон болон биологийн эдийн хоорондын харилцаанаас (шингээлт, сарнилт, автофлюресценц) ихээхэн хамаардаг [8].

Гэрлийн үүсгүүрээс гарч буй өдөөгч фотон дээжийн эдээр дамжин индоцианин ногоон тодосгогч бодисд хүрснээр хэд хэдэн үзэгдэл явагдах магадлалтай байдаг. Үүнд нь:

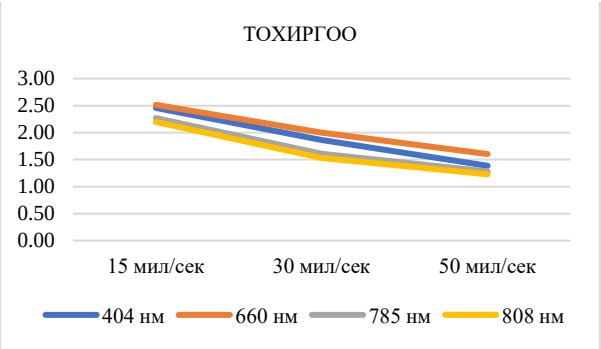
- Эд фотоныг өөртөө шингээх
- Фотон сарних (очих ёстой замаасаа хазайх үйл явц)
- Автофлюресценц (цацаргалтаас гадна өөр гэрэл ялгаруулах.)

Эдгээр нь дохио ба шуугианы харьцаанд нөлөөлдөг тул дүрслэлийн чанар мууддаг. NIR-I филтер тохиргоог ашигласнаар автофлюресценцийг цэвэрлэдэг [4].

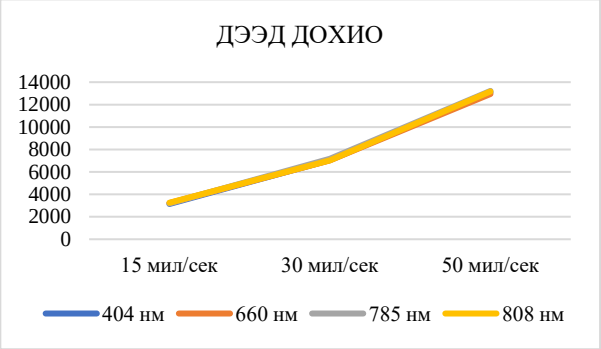
III. АРГА ЗҮЙ

Бид SWIR флюресценц аппаратыг (MetagenieTM, MetapleBio Inc., Korea) индоцианин ногоон (Indocyanine green-ICG) тодосгогч бодисын хамт ашигласан. Тус аппарат нь 404 нм, 660 нм, 785 нм, 808 нм гэсэн дөрвөн төрлийн лазертэй, гаралтын хүчээ 0-5В хооронд тохируулж индоцианин ногоон тодосгогч бодисын молекулыг өдөөнө. 900 нм филтертэй ба 808 цацарсан гэрлийн долгионы дохиог дүрслэлийн мэдрүүрээр ихэсгэх боломжтой. Тус аппаратыг мэс заслын чиглүүлэгчээр ашиглахад гадны хүчин нөлөөнөөс болж төхөөрөмжийн дүрслэх шинж чанарт өөрчлөлт орж байдаг [10]. Тиймээс марл дээр мэс засал дээр ашигладаг индоцианин ногоон тодосгогч бодисыг шингээж байгаад төхөөрөмж дээр байгаа дөрвөн төрлийн лазер гаралт, гаралтын хүчний тохиргоог хоёр төрлөөр, мэдрэгчийг мөн хоёр төрлөөр ашиглаж хэмжилтүүдийг хийсэн. Ингэснээр дохио ба шуугианы харьцаа тодорхойлох, дээд дохиог олон харьцуулж үзнэ. дохио ба шуугианы харьцааг өндөр, тодрол өндөр байсан тохиргоог эдэн дээр харж туршсанаар мэс засалд чиглүүлэгчээр ашиглахад тохиромжтой төхөөрөмжийн тохиргоог олж тохируулан, цаашид тухайн тавилыг стандарт болгон ашиглах боломжтой эсэхийг судалсан.

Эхлээд төхөөрөмжийн дүрслэлийн мэдрүүр 50%-тай нээж 404 нм, 660 нм, 785 нм, 808 нм лазеруудыг 80% гаралтын хүчтэйгээр, гэрлийн шарлагын хугацаа өсгөлтийн өөрчлөлтүүдийг 15 мил/сек 1дБ, 30 мил/сек 2 дБ, 50 мил/сек 3дБ дээр тохируулж, филтерүүдийг 500, 1000, 2000 гэсэн утга дээр тааруулан тоон болон зурган бүртгэл хийсэн.



1-р зураг. Флюресценц аппаратын тохиргоог фильтер тохиргоо 500, үндсэн тохиргоо 15 мил/сек 1дБ, 30 мил/сек 2дБ, 50 мил/сек 3дБ гэсэн тохиргоон дээр тавьж дохио ба шуугианы харьцааг ялгааг гаргасан.



2-р зураг. Флюресценц аппаратын тохиргоог филтер тохиргоо 500, үндсэн тохиргоо 15 мил/сек 1дБ, 30 мил/сек 2дБ, 50 мил/сек 3дБ гэсэн тохиргоон дээр тавьж хистограм графикаас төхөөрөмж дээр ирж байгаа дээд дохиог бүртгэн гаргасан.

Филтер тохиргоог өөрчлөхөд төхөөрөмж дээр ирэх дохио болон дохио ба шуугианы харьцааны утга дээр өөрчлөлт ороогүй ч, зургийн чанар сайжирч байсан. Харин гэрлийн шарлагын хугацаа, өсгөлт хоёрыг нэмснээр дохионы тоо ихэсч, илүү тод харагдаж байна.

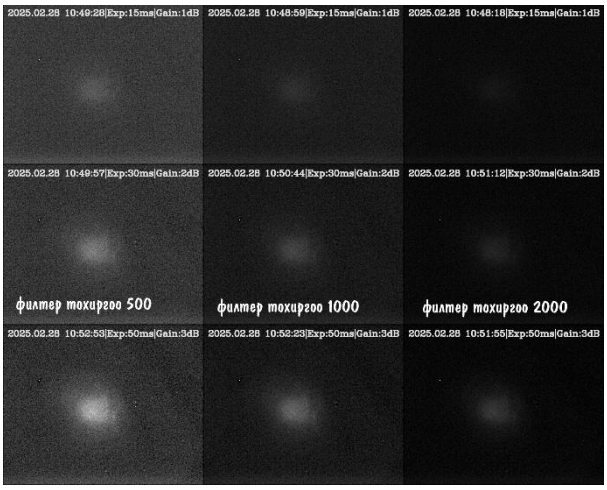
Дохио ба шуугианы харьцааны утгыг дараах томьёоны дагуу бодож олсон [7].

$$SNR = \frac{\mu_{sig}}{\sigma_{sig}}$$

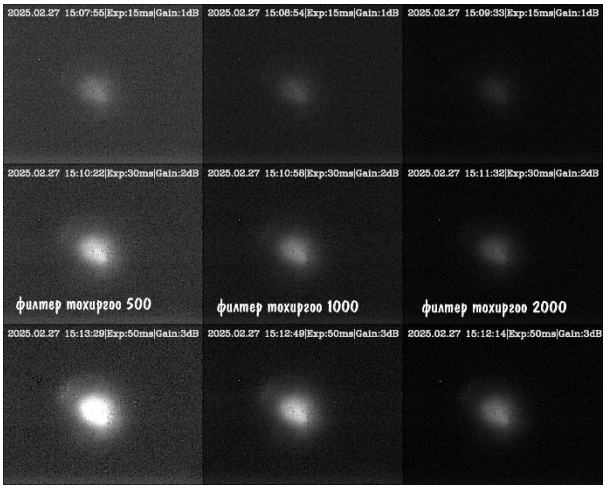
SNR дохио ба шуугианы харьцаа

μ_{sig} дундаж дохионы тоон утга

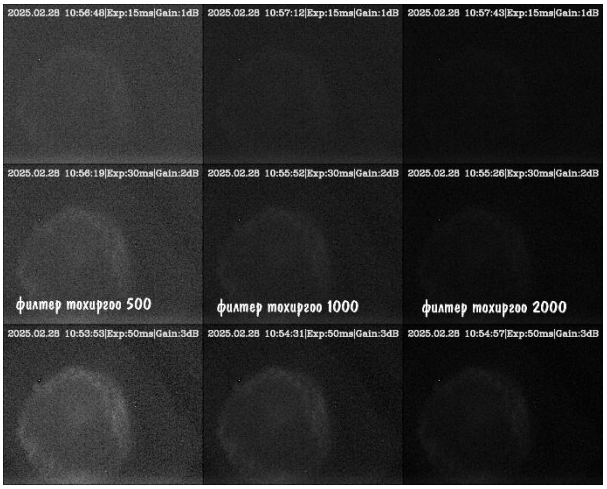
σ_{sig} стандарт хазайлт



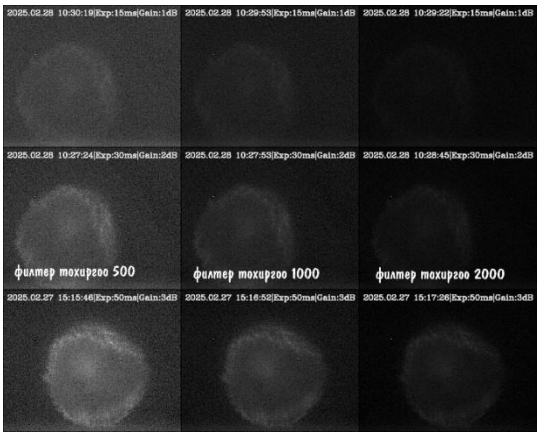
4-р зура.г Флюресценц аппаратыг 404 нм-ийн лазер 80% гаралтын хүч дээр тохируулж филтер тохиргоо болон гэрлийн шарлагын хугацаа, өсгөлтийн тохиргоог өөрчлөн харуулсан.



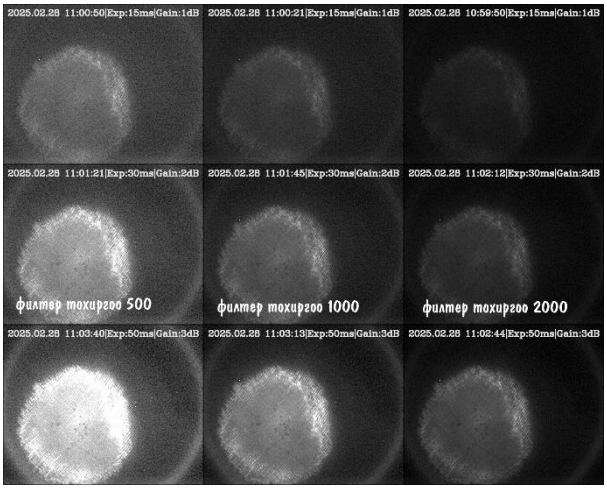
5-р зураг. Флюресценц аппаратыг 404 нм-ийн лазер 100% гаралтын хүч дээр тохируулж филтер тохиргоо болон гэрлийн шарлагын хугацаа, өсгөлтийн тохиргоог өөрчлөн харуулсан.



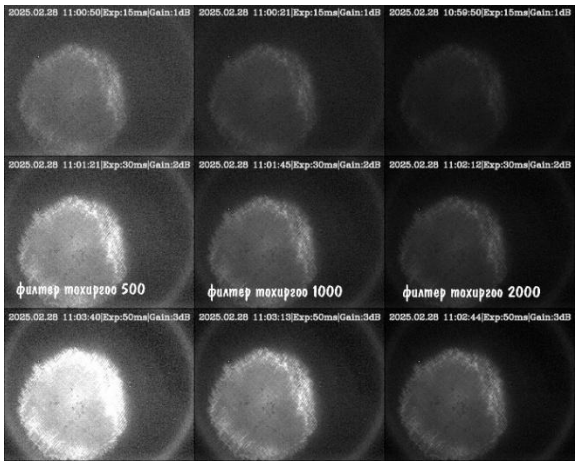
6-р зураг. Флюресценц аппаратыг 660 нм-ийн лазер 80% гаралтын хүч дээр тохируулж филтер тохиргоо болон гэрлийн шарлагын хугацаа, өсгөлтийн тохиргоог өөрчлөн харуулсан.



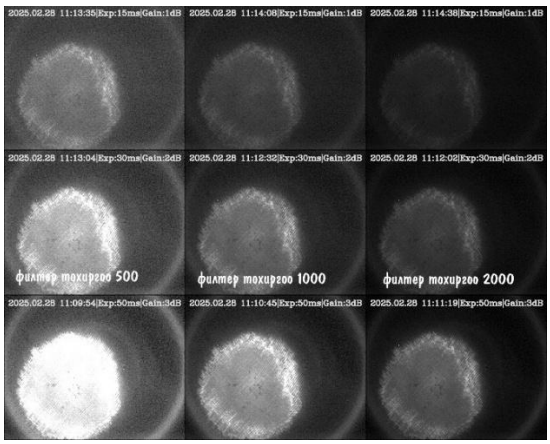
7-р зураг. Флюресценц аппаратыг 660 нм-ийн лазер 100% гаралтын хүч дээр тохируулж филтер тохиргоо болон гэрлийн шарлагын хугацаа, өсгөлтийн тохиргоог өөрчлөн харуулсан.



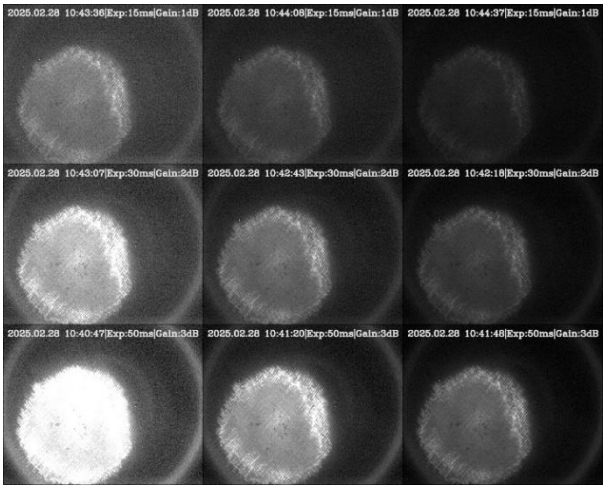
8-р зураг. Флюресценц аппаратыг 785 нм-ийн лазер 80% гаралтын хүч дээр тохируулж филтер тохиргоо болон гэрлийн шарлагын хугацаа, өсгөлтийн тохиргоог өөрчлөн харуулсан.



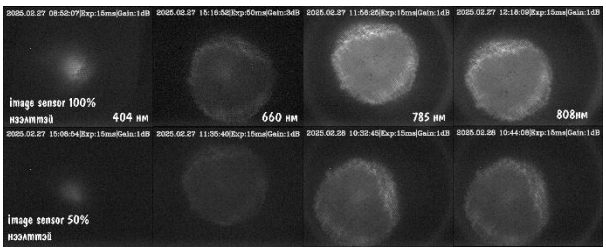
9-р зураг. Флюресценц аппаратыг 785 нм-ийн лазер 100% гаралтын хүч дээр тохируулж филтер тохиргоо болон гэрлийн шарлагын хугацаа, өсгөлтийн тохиргоог өөрчлөн харуулсан.



10-р зураг. Флюресценц аппаратыг 808 нм-ийн лазер 80% гаралтын хүч дээр тохируулж филтер тохиргоо болон гэрлийн шарлагын хугацаа, өсгөлтийн тохиргоог өөрчлөн харуулсан.

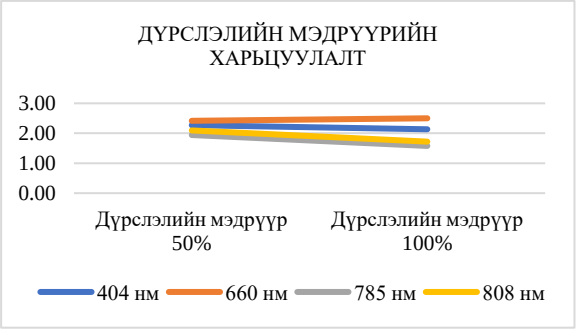


11-р зураг. Флюресценц аппаратыг 808 нм-ийн лазер 100% гаралтын хүч дээр тохируулж филтер тохиргоо болон гэрлийн шарлагын хугацаа, өсгөлтийн тохиргоог өөрчлөн харуулсан.



12-р зураг. Флюресценц аппаратын дүрслэлийн мэдрүүрийн тохиргоог 50%, 100% гэж хоёр янзаар тохируулж үзсэн. Үүнд гэрлийн шарлагын хугацаа 15мил/сек, өсгөлт 1дБ, филтер 1000, лазерын гаралтын хүчийг 100% гэж тохируулсан.

Лазерын тохиргоог өөрчлөн харах болгонд дүрслэлийн чанар сайжирч байна. Үүнээс харж үзэхэд лазерын нм долгионы урт, урт байх тусам марлийг илүү сайн харж байна. 404 нм дээр марл цагаан толбо шиг харагдаж байсан бол, 785 нм, 808 нм дээр дүрс нь илүү тодрохоос гадна бүтэц нь харагдаж байна. Эдгээр туршилтыг дүрслэлийн мэдрүүр 50% нээлттэйгээр хийсэн ба үүнээс харахад гэрлийн шарлагын хугацаа, өсгөлтийг ихэсгэхэд тодрол нь ихсэж дүрс нь мэдэгдэхгүй байна. Дүрслэлийн мэдрүүрийн тохиргоог 100% нээхэд дохионы тоон утга болон дохио ба шуугианы харьцаанд өөрчлөлт орж зураглалын чанар филтерээсээ хамааран тодорч байна [12-р зураг].



3-р график. Флюресценц аппаратын тохиргоог филтер тохиргоо 1000, үндсэн тохиргоо 15 мил/сек 1дБ, дүрслэлийн мэдрүүрийн тохиргоо 50%, 100% гэсэн тохиргоон дээр тавьж дохио ба шуугианы харьцааны ялгааг гаргасан.

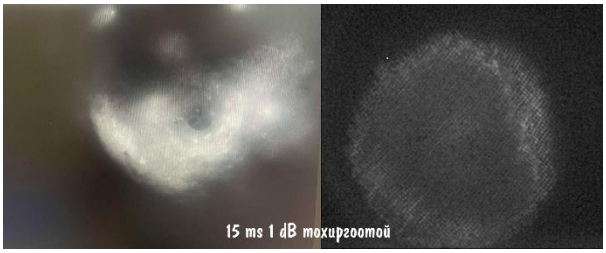
3-р графикийн дагуу дохио ба шуугианы харьцаа тоон утга багасаж дүрслэл нь илүү тодорч байна. Индоцианин ногоон тодосгогч бодисыг 12:20 минутад тарьснаас хойших цагийг харсан ба 14:20 минутад индоцианин ногоон тодосгогч бодис хөхний эдээс гадагшилж бүдгэрсэн.

13-р зураг. индоцианин ногоон тодосгогч бодистой хөхний эдийн тодсох хугацаа.

IV. Туршилтын үр дүн

Мэс заслын чиглүүлэгчээр ашиглах зорилготойгоор тухайн төхөөрөмжийг хөхний харуулын булчирхай авахад ашигласан ба эхлээд марл дээр 2 мл индоцианин ногоон тодосгогч бодис шингээж төхөөрөмжөөр харсныхаа дараа хөхний эдэн дээр 5 мл индоцианин ногоон тодосгогч бодис тарьж харсан болно. Марл дээр тусаасан индоцианин ногоон тодосгогч бодис 404 нм, 660 нм, 785 нм, 808 нм тод сайн харагдаж байсан боловч 404 нм 660 нм 100%-н гаралтын хүчтэй лазер хөхний эдийг харахгүй байсан. Марлаас ялгаатай нь хөхний эдийн тохиргоо өөрөөр орж ирж байсан. Марл дээр гэрлийн шарлагын хугацаа 30 мил/сек өсгөлт 2 дБ тохиргоо, гаралтын хүч 100% дээр нягтаршил сайтай тод харж байсан бол, хөхний эд дээр дохио ба шуугианы харьцаа 15мил/сек, өсгөлт 1 дБ филтер 800 дээр дохио ба шуугианы харьцаа 2.48 нягтаршил сайтай харж байсан. [15-р зураг].

14-р зураг. индоцианин ногоон тодосгогчтой хөхний эдийг ижилхэн тохиргоотойгоор 808 нм, 660 нм-н лазераар харсан.



15-р зураг. ижил тохиргоотой индоцианин ногоон тодосгогч бодис агуулсан марл болон хөх..

V. Дүгнэлт

Флюресценц аппаратыг одоогийн байдлаар NIR-I муж болох 808 нм-н долгионы урттай лазер ашиглан харж байна. Лазер болон тохиргоонуудыг өөрчлөн дохио ба шуугианы харьцааны тоон утгыг гаргахад тоон утга өөр хоорондоо төстэй байгаа боловч, хөхний эд дээр харах үед долгион нь урт лазер дүрслэлийг илүү гарган харуулж байна. Гарын авлага дээр байгаа тохиргоогоор харахад хөхний эдэн дээр хэт их тодосголтой харагдан, эдийн нарийн бүтцийг харж болохгүй байна. Иймээс гэрлийн шарлагын хугацаа 15мил/сек 1дБ дээр тавьж хэт их тодосголтой бол филтерийн утгыг 2000 болон түүнээс дээр, бүдэг байвал 500 гэсэн тоон утга дээр тавьж харах боломжтой. Түүнээс гадна гэрлийн шарлагын хугацаа, өсгөлтийн тоон утгаар дохиог өсгөх, дүрслэлийн мэдрүүрийг бүрэн нээх зэргээр төхөөрөмж дээр ирэх дохиог нэмэгдүүлснээр илүү гүнд, бүдэг харагдаж байгаа дүрсийг тохируулан харах боломжтой байна. Марл дээр болон хөхний эд дээр хийсэн туршилтыг авч үзэхэд индоцианин ногоон тодосгогч бодисыг тарьснаас хойш 5-10 минутын дараа, 2 цагийн дотор харах нь тодосголт сайтай гэж үзэж байна.

Цаашид лазерын долгионы урт өндөр байх тусам төхөөрөмжийн харалт сайжирч байгаа тул, тус төхөөрөмжийн лазер тохиргоог 1300 нм хүртэл нэмж туршилт хийж үзэх хэрэгтэй гэж үзэж байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] Songjiao Li, Dan Cheng, Longwei He, Lin Yuan. Recent progresses in NIR-I/II Fluorescence Imaging for surgical navigation. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology Volume 9 Article 768698 (2021).

[2] Ерөнхий хими гурав дахь хэвлэл Даржаа Цэмбэлийн (Зохиолч), Түвшинбаяр Д (Зураач), Пүрэвсүрэн Д (Зураач), Дорж Д (Редактор) 2016-01-01

[3] Fluorescence Imaging Amersham Pharmacia Biotech Inc. 2000—All rights reserved.

[4] John V Frangioni. In vivo near-infrared fluorescence imaging. Current Opinion in Chemical Biology 2003, 7:626–634

[5] Joseph R. Lakowicz. Principles of Fluorescence Spectroscopy Third Edition. University of Maryland School of Medicine Baltimore, Maryland, USA. 2006, 1999, 1983 Springer Science+Business Media, LLC

[6] A.L. Stanford and J.M. Tanner. Physics for Students of Science and Engineering. Copyright © 1985 Academic Press, Inc. Published by Elsevier Inc. All rights reserved.

[7] Rowlands, Andy. Physics of Digital Photography. IOP Publishing. ISBN 978-0-7503-1243-1 (April 2017).

[8] Chunyan Li,‡ Guangcun Chen,‡ Yejun Zhang, Feng Wu, and Qiangbin Wang*. Advanced Fluorescence Imaging Technology in the Near-Infrared-II Window for Biomedical Applications. © 2020 American Chemical Society).

[9] Hong, G., Antaris, A. L. & Dai, H. Near-infrared fluorophores for biomedical imaging. Nat. Biomed. Eng. 1, 0010 (2017).

[10] Zhenhua Hu1,2,7, Cheng Fang3,7, Bo Li3,7, Zeyu Zhang1,4,7, Caiguang Cao1,2, Meishan Cai1,2, Song Su3, Xingwang Sun3, Xiaojing Shi1,2, Cong Li1,2, Tiejun Zhou3, Yuanxue Zhang3, Chongwei Chi1, Pan He3, Xianming Xia3, Yue Chen3, Sanjiv Sam Gambhir5*, Zhen Cheng5* and Jie Tian1,2,4,6*. First-in-human liver-tumour surgery guided by multispectral fluorescence imaging in the visible and near-infrared-I/II windows. Nat. Biomed. Eng.(23 December 2019).

[11] Claire Egloff-Juras, Lina Bezdetnaya, Gilles Dolivet & Henri-Pierre Lassalle (2019) NIR fluorescence-guided tumor surgery: new strategies for the use of indocyanine green, International Journal of Nanomedicine, 7823-7838, DOI: 10.2147/IJN.S207486

МОНГОЛ УЛС ДАХЬ ШУГАМАН ХУРДАСГУУРТ АППАРАТЫН АШИГЛАЛТЫН ӨНӨӨГИЙН БАЙДАЛ

Дамдингийн БАТБОЛОР[1], Даваажавын ПҮРЭВДАШ[2]
Монгол улс, Улаанбаатар, Хавдар судлалын үндэсний төв[1]
Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль
Эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн ашиглалтын инженер[1, 2]
Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: batbolordamdin@gmail.com[1], dashaa@must.edu.mn[2]

Хураангуй: **Монгол улсын хэмжээнд ашиглагдаж байгаа шугаман хурдасгууруудын техникийн хүчин чадал, эмчилгээний ачаалал, аппаратын эвдрэл гэмтлийн судалгааг хийж харилцан хамаарлыг судлахад бага чадлын аппаратын ачаалал 480 хүн/жил байхад гэмтэл 29, дунд чадлын аппаратын хувьд 696 хүн/жил-д 101, өндөр чадлын аппаратын хувьд 240 хүн/жил-д 44 гэмтэл гарч харилцан адилгүй байгаа нь техникийн хүчин чадал, ашиглалт, эмчилгээний аргачлал, ачаалал зэрэг нь харилцан шууд хамааралтай байна. Түүнчлэн төхөөрөмжийн нарийвчлал, хүчин чадал нэмэгдэх тусам алдааны коэффициент өсөж засвар үйлчилгээ, ашиглалтын зардал нэмэгдэж байна. Шугаман хурдасгуурын ашиглалт хэвийн үйл ажиллагааг сайжруулахын тулд сэлбэг хэрэгслийн хүлээгдлийн хугацааг багасгаж сэлбэгийн бэлэн байдал нөөцийн бүрдүүлэлтийг зохих түвшинд хангаж бусад эрсдэлт хүчин зүйлсийн нөлөөллийг бүрэн тодорхойлж, техникийн шаардлагад нийцсэн орчин нөхцөлийг хангаж ажилласнаар дээрх эрсдэлээс зайлсхийх боломжтой байна.**

Түлхүүр үг: Ашиглалтын түвшин, эвдрэл гэмтэл, техник үзүүлэлт, хавдар, туяа эмчилгээ, ажлын ачаалал.

I. УДИРТГАЛ

Хорт хавдрын өвчлөл нэмэгдэж байгаа өнөө үед хавдрын үндсэн эмчилгээний нэг болох зайн туяа эмчилгээний тоног төхөөрөмжийн найдвартай, тасралтгүй ажиллагаа нэн чухал байна. Туяа эмчилгээ гэдэг нь өндөр эрчимтэй ионжуулсан туяагаар хорт хавдрыг анагаадаг бөгөөд дахин ургах, бусад эд эрхтнүүдэд халдварлахаас урьдчилан сэргийлдэг чухал үүрэгтэй.

Туяа эмчилгээ нь анх 1895 онд рентген туяа, 1865 онд цацраг идэвхт бодисыг нээсэн цагаас эхэлсэн гэж үздэг. Шинжлэх ухааны нээлт, туршилт, алдаа, технологийн дэвшлийн үр дүнд зайн туяа эмчилгээ болон дотуур туяа эмчилгээний стандартчилсан аргуудыг боловсруулан гаргасан [1]. Харин анхны шугаман хурдасгуурт туяа эмчилгээ 1949 онд Английн Лондон хотод хийгдэж байсан [2]. Монгол улсын хувьд 1959 онд Улсын клиникийн төв эмнэлгийн дэргэд анхны туяа эмчилгээний рентген аппаратыг суурилуулснаар туяа эмчилгээний түүх эхэлсэн бол 1961 онд “Цацраг туяа эмнэлэг” гэсэн нэртэйгээр анхны хавдрын эмнэлэг нээгдэж ГУТ-Co-60-400, Луч-1 гэсэн гамма туяа эмчилгээний аппаратуудтайгаар үйл ажиллагаагаа эхэлсэн байдаг.

Хөгжилтэй орнуудад туяа эмчилгээг хавдраар шинээр өвчилж байгаа нийт өвчтөнүүдийн 50-64 хувьд хийдэг [3]. Манай улсад 2023 оны байдлаар хавдрын 7244 шинэ тохиолдол илэрснээс 883 хүнд зайн туяа эмчилгээ хийгдсэн байна. Харин 2024 дахин нэг аппарат суурилагдан ашиглалтад орсноор 2024 оны байдлаар 1417 хүн зайн туяа эмчилгээнд хамрагдсан байна [4].

Судалгаагаар шугаман хурдасгуурын хүн амд байх хүртээмжийн дундаж нь өндөр орлоготой орны хувьд 183,000 хүн амд 1, дунд орлоготой оронд 284,000 хүн амд 1, бага орлоготой орнуудад 500,000 хүн амд 1 байх шаардлагатай гэсэн тооцоо гаргасан байна. Гэвч туяа эмчилгээний эмч нарын үзэж байгаагаар энэ нь 150-400 мянган өвчтөнд (дунджаар: 250,000) 1 байх хэрэгтэй бөгөөд өндөр, дунд, бага орлоготой орнуудын хооронд үнэмлэхүй ялгаа байхгүй гэсэн байна [5]. Эндээс үзэхэд манай орны хувьд дунджаар 14 шугаман хурдасгуур шаардлагатай гэсэн тоон үзүүлэлтийг харж болохоор байна.

Өнөөдрийн байдлаар МУ-ын хэмжээнд хавдар судлалын үндэсний төвд 3 шугаман хурдасгуурт аппарат ашиглагдаж байна. Энэ нь дэлхийн дундажтай харьцуулахад хэтэрхий бага тоо байгаа тул тэдгээр аппаратуудын хүртээмж, ачаалал, ашигт ажиллагааны коэффициент зэрэг олон асуудлууд анхаарал татаж байна. Тиймээс тус аппаратуудын ашиглалт, ачааллын түвшин ямар хэмжээнд байгаа, эвдрэл гэмтлийн тохиолдол, сул зогсолтын хугацааг судлан үзэж ирээдүйн чиг хандлагыг тодорхойлох шаардлага тулгараад байгаа юм.

Монгол улсад ашиглагдаж байгаа шугаман хурдасгуурт төхөөрөмжүүдийн ашиглалт, ачаалал, эвдрэл гэмтлийн өнөөгийн бодит байдлыг үнэлэн дүгнэж гаргахад оршино. Энэ судалгаа нь ХСУТөвд ашиглагдаж байгаа Clinac iX, Unique, Truebeam гэсэн 3 шугаман хурдасгуурт аппаратын ашиглалт, эвдрэл гэмтэл, хүлээгдлийн түвшнийг гаргахыг зорьсон болно.

II. ТОНОГ ТӨХӨӨРӨМЖИЙН АШИГЛАЛТ, АЖИЛЛАГААНЫ БҮТЭЦ

Эмнэлгийн шугаман хурдасгуур нь өндөр давтамжийн цахилгаан соронзон долгион ашиглан бөөмс /электрон/-ийг шаардлагатай өндөр энергийн түвшин хүртэл хурдасгаж, хэлбэржүүлэн багц цацраг болгон эмчилгээ хийх зориулалт бүхий цогц систем юм. Шугаман хурдасгуурын дундаж давтамжийн хэлбэлзэл нь 3 тэрбум орчим Гц ($3*10^9$ Гц/секунд) байдаг [6].

Эмнэлгийн шугаман хурдасгуур нь өндөр энергитэй рентген эсвэл электроныг ашиглан хорт хавдрын эсийг үхүүлэх, ургалтыг нь зогсоох зорилгоор хийгддэг зайн туяа эмчилгээний нийтлэг төхөөрөмж юм. Хавдрын голомтод хамгийн их тун, эргэн тойрон дахь эрүүл эд эрхтэнд хамгийн бага тунг өгч эмчилгээ хийх зорилгоор хэд хэдэн төрлийн эмчилгээний аргачлалыг ашиглаж эмчилгээг явуулдаг.

IMRT-эрчмийг тохируулсан туяа эмчилгээ,

VMAT-эзлэхүүнт нуман эмчилгээ,

IGRT-дүрслэлд суурилсан туяа эмчилгээ,

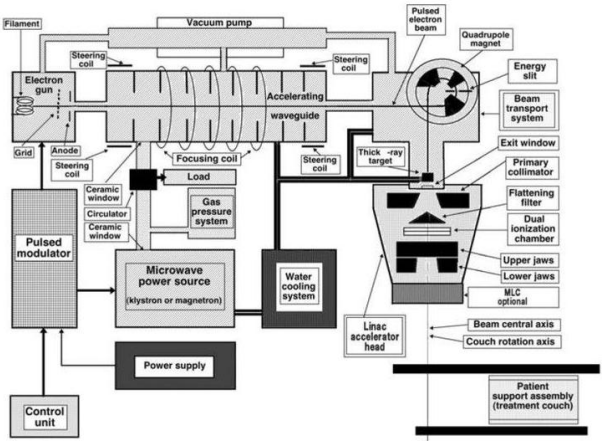
SRS-SBRT туяаны мэс засал ба биеийн стереотактик туяа эмчилгээ зэрэг болно [7].

Энэхүү систем нь модулятор /Modulator/, нэгдсэн удирдлага /Console/, төхөөрөмжийн их бие /Drive stand/, гантри /Gantry/, эмчилгээний ор /Treatment couch/ гэсэн ерөнхий хэсгүүдээс бүрдэх ба эдгээр хэсгүүдэд дотоод системүүд хуваагдан байрладаг.

Модулятор кабинет. Энд өндөр хүчдэл, ерөнхий удирдлага, магнитрон, аваарын товчлуур зэрэг төхөөрөмжийн бүх цахилгаан хангамж байдаг.

Нэгдсэн удирдлагын кабинет. Энд шугаман хурдасгуурын бүх төрлийн хяналтын систем, удирдлагын компьютерүүд байрлаж, төхөөрөмжийн ажиллаагааг удирдах, хянах үүрэг бүхий хэсэг юм.

Төхөөрөмжийн их бие /Drive stand/. Энд хурдасгуурын дийлэнх систем болон үндсэн төхөөрөмжүүд суурилагдсан байдаг.



1-р зураг. Шугаман хурдасгуурын бүтцийн блок схем

Долгион дамжуулах систем /wave guide system/. Klystron/Magnetron нь өндөр давтамжийн долгион үүсгэж долгион дамжуулагч /wave guide/-аар хурдасгууртай холбогдон өндөр давтамжийн үүсгэгч болдог. Эдгээр нь адил зориулалттай боловч бага энергийн хурдасгуурт Magnetron, олон болон өндөр энергийн хурдасгуурт Klystron-ыг ашиглах нь илүү зохимжтой гэж үздэг байна.

Усан хөргөлтийн систем Хурдасгуурын ажиллах явцад хэт халалтаас сэргийлэн, температурын тогтмол байдлыг хангаж өгөх.

Хийн систем нь өндөр давтамжийн генератороос хурдасгуур руу долгионыг нэвтрүүлэх үед цацрагийн урвуу урсгалаас тусгаарлах үүрэгтэй.

Гантри нэг тэнхлэгээр 360^0 эргэж эмчлүүлэгчийг бүх талаас нь эмчилгээ хийх боломжийг бий болгож өгдөг.

Электорон буу/Electron gun халсан катодоос сугаран гарсан электронууд анодоор дамжин гарч хурдасгуур /accelerating waveguide/-т орно.

Хурдасгуур /accelerating waveguide/-т орж ирсэн бөөмс соронзон орны нөлөөгөөр хурдасгагдан өндөр энерги бүхий рентген /фотон/ болон электрон цацраг болно.

Ваккум систем нь хурдасгуурын вакум орчныг бий болгодог.

Цацрагийн тээвэрлэлт /Beam transport/ Хурдасгуураар нэвтрэн гарсан өндөр энерги /megavoltage/ бүхий фотон цацраг нь 270^0-аар тойруулан байрлуулсан хүчтэй цахилгаан соронзон /bending magnet/-оор дамжин эмчилгээний толгой руу чиглэх боломжтой болно.

Эмчилгээний толгой /Treatment head/ Энд худасгуураар дамжин ирсэн өндөр энерги бүхий цацрагийг хэлбэржүүлэх, цацрагийн хяналт хийх үүрэг бүхий хэд хэдэн бүрэлдэхүүн хэсэг /bending magnet, scattering foils, X-ray target, primary collimator, beam flattening filter, ion chamber, secondary collimator, field light/ багтсан байдаг.

Олон хавтаст коллиматор /MLC/ нь хүнд металиар хийгдсэн хоорондоо үл хамаарал бүхий хөдөлгөөний механизмтай цацраг хэлбэржүүлэгч хэсэг юм. Хавдрын хэлбэр хэмжээг нарийвчлалтай үүсгэж эрүүл эд эрхтэнг рентген цацрагт өртөхөөс хамгаалдаг [8].

Эмчилгээний ор нь төхөөрөмжийн төв цэг /isocenter/-ийн дагуу эргэх хөдөлгөөн хийхээс гадна, хөндлөн, босоо, тууш чиглэлийн дагуу дурын байрлалд байрлуулж эмчлүүлэгчийн биеийн аль ч хэсэгт эмчилгээ хийх боломжийг бүрдүүлдэг.

ШУГАМАН ХУРАДАСГУУРТ АППАРАТУУДЫН ОНЦЛОГ ЯЛГАРАХ ҮЗҮҮЛЭЛТҮҮД

ХҮСНЭГТ 1

Үзүүлэлт	***CLinac Unique***	***CLinac iX***	***Truebeam***
Цацрагийн төрөл, гаралт	6MV	6MV, 10 MV 10MeV, 18MeV	6 MV, 6FFF болон 10 FFF цацраг, 15 MV цацраг
Тунгийн чадлын гаралгалт	100-400 MU/min	100-600 MU/min	1400-2400 MU/min
Дүрсийн хяналтын систем	OBI	CBCT, OBI	CBCT, OBI
Эмчилгээний орны бүтэц	3 тэнхлэгт	3 тэнхлэгт	6 хэмжээст орны систем
Аюулгүйн систем	Механик хамгаалалт	Механик хамгаалалт	Dry run систем
MLC-олон хавтаст колиматор	2,4 мм/6 мм	2,4 мм/6 мм	1,5 мм/2,4 мм
Нэмэлт эмчилгээний төхөөрөмж	Байхгүй	Байхгүй	4 хэмжээст RGSC туяа эмчилгээний төхөөрөмжтэй

III. СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН, ҮЗҮҮЛЭЛТ

Тоног төхөөрөмжийн судалгаа.

Хүснэгт 1-т зайн туяа эмчилгээний шугаман хурдасгуурт аппаратуудын онцлог үзүүлэлтүүдийг харьцуулан үзүүлж байна. *Үүнд:*

Эвдрэл, гэмтлийн судалгаа.

ШУГАМАН ХУРАДАСГУУРТ АППАРАТУУДЫН ЭВДРЭЛ, ГЭМТЛИЙН ХАРЬЦУУЛАЛТ, 2024 ОНД

ХҮСНЭГТ 2

Код /алдааны/ \ *Аппаратын нэр*	*CLinac Unique*	*CLinac iX*	*Truebeam*
FLOW	9	6	-
HWFA	2	7	-
HVCB	1	13	-
MLC	9	15	11
GFILL	1	7	-
MFILL	3	-	-
KFILL	-	4	-
CARR FILL	1	7	-
OBI	-	9	-
TARG	-	4	-
BGM	-	-	12
COLL	-	-	9
JAW	-	9	-
DOSE SPV	-	-	4
KSOL	-	-	1
YLD	-	-	2
Бусад	3	20	5
Нийт гэмтэл	*29*	*101*	*44*

Хүснэгт 2-оос харахад бүгд нэг үйлдвэрлэгчийн шугаман хурдасгуурууд энергийн төрөл, ашиглалтын түвшин зэргээс хамаарч төхөөрөмжүүдэд гарч буй эвдрэл гэмтэл харилцан адилгүй гарч байна. Гурван аппаратын хувьд хамгийн ойролцоо утга нь MLC буюу олон хавтаст коллиматорын гэмтэл адил түвшинд байгаа нь хэдийгээр өөр түвшний аппаратууд боловч нийт эмчилгээний туршид яг адилхан тасралтгүй ажиллагаатай байдаг гэдгийг нэг талаараа илэрхийлж байна. Эндээс бид төхөөрөмжүүдийн ашиглагдаж байгаа сэлбэгийн хэрэгцээг тооцоолон заавал байлгах шаардлагатай сэлбэг хэрэгслийн жагсаалтыг гаргах боломжтой болж байгаа юм.

Хүснэгт 3-т төхөөрөмжүүдийн эвдрэл гэмтлийн улмаас сул зогссон цаг болон огт ажиллаагүй хоногуудыг хүчин зүйлсийн нөлөөллөөр ялган харуулж байна.

Хамгийн их эвдрэл зогсолттой байгаа Clinac iX аппаратын хувьд яаралтай дуудлага, засвар үйлчилгээнд 248 цаг буюу хэвийн бус нөхцөлд нэг өдрийн ажлын цагийг 7 ц гэж үзвэл 35,4 ажлын өдөр (А.Ө) сул зогссон байна. Эндээс мөн гэмтлийг оношлох хугацааг тусгайлан бүртгэж аваагүй боловч адил төрлийн гэмтлийг засвар хугацаа тухайн гэмтэл давтагдах тусам багасаж байгаа нь судалгаанаас харагдаж байна. Төхөөрөмжийн гэмтлийг оношлох, засвар үйлчилгээг хурдан, шуурхай гүйцэтгэх зэрэг нь тухайн инженерийн туршлага, чадамжийг шууд илэрхийлэх үзүүлэлт болж байгааг харж болохоор байна. Мөн эвдрэл гэмтлийг оношлох хугацаа, гэрээт инженерийг хүлээсэн хугацаа, хэрэглэгчийн буруутай, хайхрамжгүй байдлаас үүдсэн төхөөрөмжийн гэмтэл зэргийг бүртгэлжүүлэн авах нь төхөөрөмжийн засвар үйлчилгээний төлөвлөгөөг боловсруулахад дөхөм болохоор санагдаж байна.

ШУГАМАН ХУРАДАСГУУРТ АППАРАТУУДЫН ГЭМТЛИЙН УЛМААС ЗОГССОН ХУГАЦАА, 2024 ОНД

ХҮСНЭГТ 3

Зогссон шалтгаан \ *Аппаратын нэр*	*CLinac Unique*	*CLinac iX*	*Truebeam*
Яаралтай дуудлага, засвар үйлчилгээ	60 ц	248 ц	172 ц
Эвдрэл гэмтлийн онош, тодруулах	-	-	-
Урт хугацаанд хийгдсэн засвар	-	19 х	1 х
Шаардлагатай сэлбэгийн хүлээгдэл	-	10 х	13 х
Гэрээт инженерийн хүлээгдсэн хугацаа	-	-	-
Хэрэглэгчийн алдаа, буруутай үйлдлээс хамаарсан	-	-	-
Төхөөрөмжийн бус хүчин зүйлсийн нөлөөлөл	-	13 х	-
Давагдашгүй хүчин зүйлсийн нөлөөлөл	-	-	-
Нийт хүлээгдсэн хоног	*-*	*42 х*	*14 х*
Нийт засвар хийгдсэн цаг	*60 ц 8,6 а.ө*	*248 ц 35,4 а.ө*	*172 ц 24,6 а.ө*

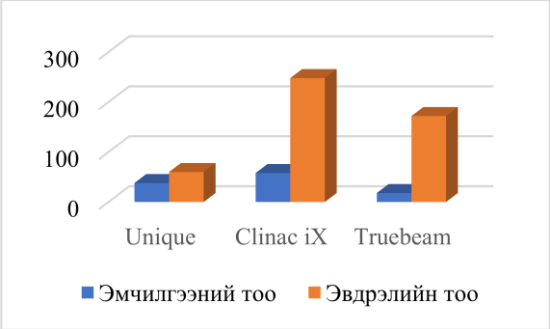
Төхөөрөмж гэмтээгүй боловч гадны бусад хүчин зүйлсийн нөлөөллөөр эмчилгээ үйлчилгээ багагүй хугацаагаар тасалдаж байгаа нь цаг уур орчны нөлөөлөл, бусад хүчин зүйлс, дагалдах тоног төхөөрөмжүүдийн хүчин чадлыг зөв тооцоолон төлөвлөж байх шаардлагатайг харуулж байна. Судалгаа гаргасан хугацааны хүрээнд давагдашгүй хүчин зүйлсийн нөлөөлөл бүртгэгдээгүй боловч өмнөх жилүүдэд үерийн ус төхөөрөмжийн суурийн хэсэгт нэвтрэн орсны улмаас өндөр өртөг бүхий сэлбэг хэрэгсэл гэмтэж, удаан хугацааны зогсолт хийж байсан нь дээрх шалтгааныг мөн давтаж байна.

Ашиглалтын судалгаа.

Монгол улсад 2024 онд 8169 хорт хавдрын шинэ тохиолдол бүртгэгдсэн байна. Үүний 35.6 хувь нь эрт үедээ оношлогдсон бол 64.4 хувь нь хожуу үе шатандаа оношлогджээ. Нийт тохиолдлын 17,3 хувь буюу 1417 хүн зайн туяа эмчилгээнд хамрагдсан байна. Эдгээрээс Unique аппарат дээр 37-43 хүн 3D эмчилгээ, CLinac iX аппарат дээр 58-62 хүн IMRT, VMAT эмчилгээ, True beam аппарат дээр 18-24 хүн IMRT, VMAT эмчилгээнд орсон байна [9]. Дээрх эмчилгээний тоо хэмжээг аппарат тус бүрээр нь эвдрэл гэмтлийн тоотой нь харьцуулан үзэхэд зураг 2-д үзүүлсэн хамаарал харагдаж байна. Эндээс тоног төхөөрөмжийн хэт ачаалал нь түүний эвдрэл гэмтэлд шууд нөлөөлж байна. Тэгвэл туяа эмчилгээний хүртээмжийг дэлхийн дундаж түвшинд ойртуулан ядаж 40% болгоно гэж үзвэл энэ өндөр ачаалалтай хэвээр тооцоход аппаратын тоог 2,3% дахин

нэмэгдүүлэх буюу 3-4 шугаман хурдасгуур нэмэлтээр шаардлагатай байна.

Өнөөгийн байдлаар CLinac iX аппаратад 8.30-20.00 цагийн хооронд 2 ээлжээр, Unique, True beam аппаратуудад 8.30-16.00 цагийн хооронд эмчилгээг явуулж байна. Оройн ээлжинд ажиллах хүний нөөц



2-р зураг. Эмчлүүлэгчийн тоо болон аппаратын гэмтлийн харилцан хамаарал

дутагдалтайн улмаас нөгөө 2 аппаратыг уртасгасан цагаар ажиллуулах боломжгүй байна. Тиймээс тоног төхөөрөмжийг тасралтгүй ажиллуулахын тулд хүний нөөц, боловсон хүчний хангалтыг хамтад нь шийдвэрлэх шаардлагатай байгаа юм.

IV. ЭВДРЭЛ, ГЭМТЭЛТ НӨЛӨӨЛӨХ ЭРСДЭЛТ ХҮЧИН ЗҮЙЛС

Цахилгааны чанар, аюулгүй байдал. Монгол улсын хувьд цахилгааны чанар аюулгүй байдал нь нэн тэргүүний анхаарах ёстой эрсдэлт хүчин зүйл болж байна. Д.Баатархүү нарын Улаанбаатар хотын нэгэн баруун бүст хийсэн судалгаагаар "хүчдэлийн хазайлт нь стандарт хэмжээнээс А фаз 4.5-аас 11.3%, В фаз 4.7-гоос 10.7%, С фаз 5.8-аас 11.2%-иар их, чадлын коэффициент нь зөвшөөрөгдөх хэмжээнд хүрэхгүй 0,75 хүртэл буурч байгаа нь чанарын шаардлага хангахгүй байна. Энэ 3 фазын ачаалал жигд бус хуваарилагдсан, чадлын коэффициентын утга хэвийн хэмжээнд хүрэхгүй, хүчдэлийн хазайлтын утга зөвшөөрөгдөх хэмжээнээс хэтэрсэн байдал нь үйлдвэрийн тоног төхөөрөмжийн найдварт ажиллагаанд сөргөөр нөлөөлнө" [10] гэж дүгнэн үзсэн байна. Үүнээс гадна төрөл бүрийн шалтгааны улмаас цахилгаан тэжээлийн гэнэтийн тасалдал түгээмэл байдаг нь тоног төхөөрөмжийн хэвийн ажиллагааг тасалдуулах, эд ангиудыг гэмтээхэд шууд болон шууд бусаар нөлөөлж байна. Харин үйлдвэрлэгчдийн зүгээс энэ бүх эрсдэлийг тооцоолохоос гадна системийг унтраахгүй байх шаардлагыг тавьдаг тул тэжээл тасарсан үед 30 минут болон түүнээс тээш хугацаанд тэжээлээр хангах боломжтой байх тасралтгүй тэжээлийн төхөөрөмж буюу UPS-ийг холбон ашиглахыг санал болгодог.

Газардуулгын нөлөөлөл. Газардуулга зохих нормын дагуу хийгдээгүй нөхцөлд тухайн тоног төхөөрөмжид шилжсэн статик цэнэг металл хэсгүүдээр дамжин төхөөрөмжийн платанд суурилсан бичил дамжуулах эд ангиудад гэмтэл учруулдаг. Цаашлаад их хэмжээний цахилгаан гүйдэл нь эмчлүүлэгч болон ажиллагсдын эрүүл мэнд, амь насанд нөлөөлөх боломжтой юм.

Шугаман хурдасгуурт аппаратын хувьд газардуулгын "ТТ" системийг холбох ёстой ба энэ нь тэжээлийн үүсгүүрийн саармаг цэгийг гүн газардуулсан, харин цахилгаан тоног төхөөрөмжийн дамжуулах ил хэсгийг үүсгүүрийн гүн газардуулсан саармаг цэгээс цахилгаан хамааралгүй байхаар газардуулгын байгууламжийн тусламжтайгаар газардуулсан систем юм [11].

Цаг уур, орчны нөлөөлөл. Монгол бол далайд гарцгүй, хуурай сэрүүн, эрс тэс уур амьсгалтай орон. Мөн далайн түвшнээс 1300 гаруй метрийн өндөрт байрлах даралтын нөлөөлөл байх болович төхөөрөмжийн хувьд хамгийн их эрсдэлт нөлөө үзүүлдэг хуурай, эрс тэс уур амьсгал юм.

ISO/TR 18931:2001 стандартаар шугаман хурдасгуурын өрөөний зохимжит температур 23^0C±1^0C бол агаарын чийгшлийн тохиромжит утга нь (55±2) % байдаг. Харин Улаанбаатар хотын -30^0C-аас +30^0C хүртэлх температурын зөрүү нь агааржуулалтын системийг асар ачаалалтай ажиллуулахад хүргэдэг бол 25-30%-ийн чийгшилтэй байгаа нь маш их хуурайшил, тоосжилтыг үүсгэж байна. Тасалгааны орчинд үүссэн энэ хуурай орчин төхөөрөмжтэй харьцах үед статик цэнэг үүсэлт маш ихээр нэмэгдүүлж, эд ангиудыг гэмтээх үндсэн шалтаан болдог. Энэ нь газардуулгын системийг маш сайн хийх бас нэгэн шаардлага болж байна.

Тоосжилт. Харин хуурайшилтаас үүдсэн тоосонцор эргэн буухдаа төхөөрөмжийг бохирдуулж, ялангуяа моторт хэсгүүдийн ачааллыг нэмэгдүүлж амархан гэмтэх шалтгааныг үүсгэж байна. Тиймээс хуурайшилтаас үүдэн гардаг эвдрэл гэмтлийг бууруулахын тулд чийгшүүлэх төхөөрөмж ашиглаж тасалгааны чийгшлийн тохиромжит утгад хүргэн ажиллах шаардлагатай болж байгаа юм.

Ашиглалт, аюулгүй ажиллагаа. Судалгаанаас харахад техникийн болон бусад хүчин зүйлсээс гадна хүний үйл ажиллагаанаас буюу ашиглалт аюулгүй ажиллагааны зааварчилгааг мөрдөж ажиллаагүй, хайхрамжгүй, хариуцлагагүй байдлаас үүдэн гарсан алдаа гэмтэл цөөнгүй тохиолдож байгаа нь энэ төрлийн давтан сургалт, ажиллагсдыг чадавхжуулах, хариуцлагын тогтолцоог нэмэгдүүлэх шаардлага тулгарч байгааг харж болохоор байна.

Урьдчилан сэргийлэх засвар үйлчилгээ. Ихэнх суурин төхөөрөмжийн хувьд урьдчилсан засвар үйлчилгээний төлөвлөгөөт хувиар нь 3 сараар бичигдсэн байдаг [13]. Дээрх бүх нөлөөллийн улмаас урьдчилан сэргийлэх үйлчилгээг заавал үйлдвэрийн санал болгосон 3 сар тутамд биш илүү ойр ойрхон хийж байх саналыг дэвшүүлж байна.

Сэлбэг хэрэгслийн бүрэн хангалт. Түгээмэл гэмтдэг сэлбэг хэрэгслийн нөөцийг тодорхой

хэмжээнд байлгаж байсан ч нөөцөд байхгүй сэлбэг хэрэгсэл гэмтэх, нэг биш 2 түүнээс дээш сэлбэг дараалан болон зэрэгцэн гэмтсэн тохиолдолд нэг сар түүнээс ч дээш хугацаагаар аппарат зогсох тохиолдолд цөөнгүй гарч байна. Тиймээс сэлбэгийн хангалтыг бүрэн нөөцлөх шаардлагатайг харуулж байна.

V. ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгаагаар ХСҮТ-д буюу Монгол улсын хэмжээнд ашиглагдаж байгаа шугаман хурдасгууруудын техникийн хүчин чадал, эмчилгээний ачаалал, аппаратын эвдрэл гэмтлийн судалгааг хийж харилцан хамаарлыг авч үзэхэд бага чадлын аппаратын ачаалал 480 хүн/жил байхад гэмтэл 29, дунд чадлын аппаратын хувьд 696 хүн/жил-д 101, өндөр чадлын аппаратын хувьд 240 хүн/жил-д 44 гэмтэл гарч харилцан адилгүй байгаа нь техникийн хүчин чадал, ашиглалт, эмчилгээний аргачлал, ачаалал зэрэг нь харилцан шууд хамааралтай байна. Түүнчлэн төхөөрөмжийн нарийвчлал, хүчин чадал нэмэгдэх тусам алдааны коэффициент өсөж засвар үйлчилгээ, ашиглалтын зардал нэмэгдэж байна.

Дэлхийн хөгжилтэй орнуудад хавдраар шинээр өвчилж байгаа нийт өвчтөнүүдийн 50-60 хувьд туяа эмчилгээ хийгддэг. Тиймээс туяа эмчилгээний хүртээмжийг багадаа 40%-д хүргэхийн тулд 3-4 шугаман хурдасгуур нэмж суурилуулах шаардлагатай байна. Мөн тоног төхөөрөмжийн хүртээмжийг нэмэгдүүлэх, тасралтгүй ажиллагааг хангахын тулд хүний нөөц, боловсон хүчний хангалтыг шийдвэрлэх шаардлага тулгарч байна.

Шугаман хурдасгуурын ашиглалт хэвийн үйл ажиллагааг сайжруулахын тулд сэлбэг хэрэгслийн хүлээгдлийн хугацааг багасгаж сэлбэгийн бэлэн байдал нөөцийн бүрдүүлэлтийг зохих түвшинд хангаж, бусад эрсдэлт хүчин зүйлсийн нөлөөллийг тодорхойлж, техникийн шаардлагад нийцсэн орчин нөхцөлийг хангаж ажилласнаар дээрх эрсдэлээс зайлсхийх боломжтой байна.

АШИГЛАСАН ХЭВЛЭЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] History of Radiation Therapy Technology, Hyun Do Huh[1], Seonghoon Kim[2]

[2] Back to the future: the history and development of the clinical linear accelerator, David I Thwaites[1] and John B Tuohy[1]

[3] Global radiotherapy demands and corresponding radiotherapy-professional workforce requirements in 2022 and predicted to 2050: a population-based study Hongcheng Zhu, PhD[a,b] Prof Melvin Lee Kiang Prof Imjai Chitapanarux, MD[e] · Orit KaidarPerson, MD[f,g,h] Catherine Mwaba, MD[i] Majed Alghamdi, MD[j,k]

[4] ХСҮТ, Бүртгэл тандалт эрт илрүүлэгийн албаны мэдээлэл

[5] Overview of national guidelines for infrastructure and staffing of radiotherapy. ESTRO-QUARTS: Work package 1 Ben J. Slotmana, Brian Cottierb , So¨ren M. Bentzenc , Germaine Heerend , Yolande Lievense , Walter van den Bogaerte

[6] Technical specifications of medical devices for radiotherapy department

[7] Technical specifications of radiotherapy equipment for cancer treatment, World Health Organization 2021, (IAEA)

[8] Failure modes and downtime of radiotherapy LINACs and multileaf collimators in Indonesia, Gregory Sadharanu Peiris[1], Supriyanto Ardjo Pawiro[2], Muhammad Firmansyah Kasim[3], Suzie Lyn Sheehy[3]

[9] ХСҮТ-ийн статистик, 2023, 2024 он

[10] Цахилгаан эрчим хүчний чанар ба гэрэлтүүлгийн хэмнэлтийн судалгаа, Д.Баатархүү, Д.Ернур, С.Баттөгс

[11] Цахилгаан байгууламжийн дүрэм БД 43-101-03*/12

[12] ISO/TR 18931:2001 standard

[13] Analysis on Several Typical Faults of Medical Linear Accelerator, Yun Sui, The second People’s Hospital of Jinan City China, Liang Guo, Shengui Zhang* The Fouth People’s Hospital of Jinan City Taishan Medical College, China

ӨНДӨР ДАВТАМЖИЙН ЦАХИЛГААН МЭС ЗАСЛЫН АППАРАТНЫ ХЭВИЙН АЖИЛЛАГААГ ХАНГАХ НЬ

Даваагийн БУДХҮҮ[1], Даваажавын ПҮРЭВДАШ[2]
Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургууль, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль
Эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн ашиглалтын инженер
Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: Budkaa.bme@gmail.com[1], dashaa@must.edu.mn[2]

Хураангуй: **Fluke QA-ES III хэмжилтийн анализатороор өндөр давтамжийн цахилгаан мэс заслын 6-н аппаратанд горим тус бүр дээр хэмжилт хийв. Зүсэх, түлэх горимын гаралтын чадал Effect-1, Effect-2 Effect-3 горимууд дах дээд, доод хязгаарын утганд тохируулж хэмжилтийг хийхэд хэвийн байв. Зүсэх горимын гаралтын тархалтыг хэмжих утгыг 50 Вт буюу 125 Ом, дээд хязгаар 80 Вт, доод хязгаар нь 30 Вт тохируулж хэмжилтийг хийв. Уг горимд өгөгдсөн утга нь дээд, доод хязгаарын утгад 5 аппарат хэвийн ажиллаж байгаа бол Master 300-2 маркийн аппарат нь өгөгдсөн хамгийн их хязгаараас их, хэвийн бус байна. Өндөр давтамжийн цахилгаан мэс заслын аппаратны урсгал засвар болон хугацаат сэлбэгийг тухай бүрд солих, хэвийн үйл ажиллагааг тогтмол шалгаж хяналтын хуудас боловсруулан хагалгаа эхлэхийн өмнө хяналтын хуудасны дагуу шалгаж хэвших нь тоног төхөөрөмжийн хэвийн үйл ажиллагаа болон насжилтанд эергээр нөлөөлөхөөр байна.**

Түлхүүр үг: ***анализатор, өндөр давтамж, шалгалт тохируулга, зүсэх, түлэх, хэмжилтийн хязгаар***

I. ОРШИЛ

Орчин үед техник технологи хурдацтай хөгжихийн хэрээр эмнэлгийн тоног төхөөрөмж даган хурдацтай хөгжиж байгаа үед цахилгаан мэс заслын аппаратын хэвийн үйл ажиллагааг хангах болон хэвийн ажиллааг тогтмол шалгаж байх нь нэн тэргүүний асуудал болоод байна [1].

Эрүүл мэндийн салбарт ашиглагддаг өндөр эрсдэл бүхий тоног төхөөрөмжүүдэд цахилгаан мэс заслын аппарат нь эрсдэлийн зэрэг өндөртэй аппарат тул хэвийн үйл ажиллагааг тогтмол шалгах, найдвартай байдлыг үнэлэх, шалгалт тохируулга болон урсгал засварыг тогтмол хийх шаардлага тулгарч байдаг.

Эрүүл мэндийн байгууллагуудад ашиглагдаж байгаа тус аппаратын ашиглалтын хугацааг сайжруулах, засвар үйлчилгээний байдлыг үнэлж, цаашид авах арга хэмжээг тодорхойлж, эрсдэлээс урьдчилан сэргийлж техникийн хэвийн ажиллагаагаар хангах шаардлага нь нэн тэргүүний ажил гэдгийг судалгааны ажлын үндэслэл болсон.

II. ОНОЛЫН ХЭСЭГ

Өндөр давтамжийн цахилгаан мэс заслын аппарат нь хэт өндөр давтамж (300 - 500 кГц хүртэл давтамжийг ашиглаж) - ийн цахилгаан гүйдлээр бие махбодын эдийг зүсэх, түлэх ажиллагаатай хагалгааны зориулалттай аппарат юм. Мэс заслын үед өндөр давтамжийн гүйдлээр зөөлөн эдэд зүсэлт хийх, венийн жижиг судсуудыг коагуляцлах үйлдлүүдийг нэгэн зэрэг гүйцэтгэдэг.

Цахилгаан мэс заслын аппарат нь хүний биеийн зөөлөн эдийн мэс заслын хүндрэлийг (цус алдалт) багасгаж шуурхай хийх боломжийг олгодог.

Цахилгаан мэс заслын аппаратыг дурангийн коагуляцийн аппарат нь хөндийт эрхтний мэс заслын үед хэрэглэгдэнэ.

-Мэс заслын

-Дурангийн

-Лазерный гэсэн 3 төрөл байдаг.

Анх 1970-аад оноос мэс заслын аппаратын анхны засварыг хийж 1980-аад оны сүүлчээр эмнэлгийн практикт өргөн нэвтэрсэн байна. Орчин үеийн коагуляторууд нь компьютертой холбогдож овор хэмжээ нь багасаж автомат ажиллагаатай болсноор ажиллах тохилог орчныг бүрдүүлээд байна. Цахилгаан мэс заслыг XX зууны эхэн үед мэс заслын явцад гемостаз эсвэл эд эсийг хөнгөвчлөх зорилгоор нэвтрүүлсэн.

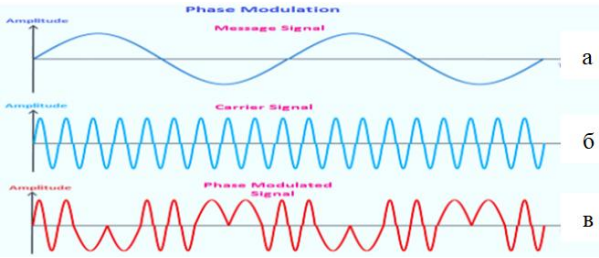
Цахилгаан мэс заслын аппарат нь өндөр давтамжийн гүйдэл ашиглан зөөлөн эд эсэд зүсэлт хийх, венийн жижиг судсуудыг коагуляцлах үйлдлийг нэгэн зэрэг гүйцэтгэдэг. Зүсэх гүйдлийн горим нь электродоор дамжих цахилгаан гүйдэл эдийг зүсэх ба зүсэлт хийсэн эдийн хананы хоёр талд байрлах хялгасан судасны цус тогтоох, хүндрэл гэмтлийг багасгах зорилгоор мэс засалд өргөнөөр ашигладаг. Судасны хана дагуух эд эсийн үхжилтийн хэмжээ нь сонгосон гүйдлийн горимын төрөл ба эд эсээр дамжих гүйдлийн хурднаас хамаардаг. Түлэх гүйдлийн горим нь эд эсийг хатаахын тулд электродыг эдийн ажилбар хийх талбай дээр байрлуулсны дараа эд эсийг өндөр давтамжийн гүйдлээр цахилгаан цацаргаж түлэх боломжийг олгодог.

Мэс заслын өндөр давтамжийн аппаратын зориулалт нь мэс заслын үед өндөр давтамжийн гүйдлээр зөөлөн эдэд зүсэлт хийх, венийн жижиг судсуудыг коагуляцлах үйлдлүүдийг нэгэн зэрэг гүйцэтгэдэг. Орчин үед анагаах ухааны шинэ нээлт, ололтуудтай мөр зэрэгцэн техникийн шинжлэх ухаанд дэвшил гарсаар байна. Цахилгаан мэс заслын аппарат нь хүний биеийн зөөлөн эдийн мэс заслын хүндрэлийг (цус алдалт) багасгаж шуурхай хийх боломжийг олгодог.

Орчин үеийн коагуляторууд нь компьютертой холбогдож овор хэмжээ нь багасаж автомат ажиллагаатай болсноор ажиллах тохилог орчныг бүрдүүлээд байна.

Коагуляцийн аппаратын физик үндэс: Цахилгаан соронзон долгион өндөр давтамжийн хэлбэлзэлд нам давтамжийн хэлбэлзлээр тодорхой хэлбэртэй болохыг модуляцлах гэдэг. Модуляцлагдсан хэлбэлзэл нь өндөр давтамжийн хэлбэлзэл боловч далайц багатай байдаг. [2]

Хэлбэлзлийн далайц, давтамж, фазыг өөрчилж модуляцлахыг Зураг 1-т харуулав.



1-р зураг. Далайцын модуляц хийх зарчим
а- Модуляцлах хэлбэлзэл (нам давтамжтай), б- Зөөгч хэлбэлзэл (өндөр давтамжтай), в- Модуляцлагдсан хэлбэлзэл

Үүнд харгалзах гүйдлийн өөрчлөлт $I = I_0 \sin\omega t$ хуулиар нам давтамжийн хэлбэлзэлд харгалзах гүйдэл:

$$I = I_0[I+f(t)]\sin\omega t \quad (1)$$

хуулиар явагдана. Хэрэв модуляцилах функц $f(t) = k\mathrm{Sin}t$ гэсэн синусийн хуулиар өөрчлөгдөж байвал гүйдэл

$$I = I_0(I + k * \sin\omega t) * 2 \quad (2)$$

болно. Голдуу $\omega_д \omega \ll \omega$ байдаг ба

$$k = (I_{max} - I_{min})/(I_{max} - I_{min}) \quad (3)$$

модуляцлагдсан хэлбэлзлийн далайцын хамгийн их (max), хамгийн бага (min) утгаар тодорхойлогдох модуляцийн коэффициент буюу гүн гэдэг. Томьёо (1)-ийн синусуудын үржигдэхүүн бүхий 2 гишүүнийг тригнометрийн томьёог ашиглаж нийлбэр болгож задалж болно. Иймд модуляцилагдсан хэлбэлзэл нь ω, $\omega+\omega_д$, $\omega-\omega_д$ бүхий гурван гармоникийн хэлбэлзлээс тогтдог. Хэлбэлзлийг модуляцлахад ганцхан нам давтамжтай хэлбэлзлийг ашиглаж цацруулах нэг хэлбэлзлийг өндөр давтамж бүхий хэд хэдэн хэлбэлзэлд хувиргана.

Эд эрхтнүүдийн онцлог шинж: Нам давтамжийн гүйдэл эд эсэд эрсдэл ихтэй боловч 100 кГц-ийн давтамжтай гүйдэл нь хүнд өвдөлт мэдрэгдэхгүйгээс гадна булчинд цочрол өгөхгүй зөвхөн дулааны нөлөөтэй байдаг. Практикт нам давтамжийн гүйдэл нь цахилгаан нум үүсгэх эрсдэл өндөртэй байдаг учраас 250 кГц-ээс их давтамжтай гүйдлийг ашигладаг.

Цахилгаан мэс заслын зорилго нь зүсэлт, түлэлт хийх явцад хамгийн оновчтой гүйдлээр мэс ажилбар хийдэг.

ЭДҮҮДИЙН ЦАХИЛГААН ДАМЖУУЛАХ ЧАДВАР, ЭСЭРГҮҮЦЛИЙН ЖИШЭЭ

ХҮСНЭГТ 1

Эдийн төрөл	Эсэргүүцэл (Ом)	Цахилгаан дамжуулах чадвар (См/м)	Цахилгаан дамжуулах чадвар (милли сименс /миллиметр)
Булчин	110	0.00909	9.090
Бөөр	126	0.00794	7.940
Зүрх	132	0.00758	7.580
Дэлүү	256	0.00391	3.910
Арьс	289	0.00346	3.460
Элэг	298	0.0036	3.360
Өөх	2180	0.000459	0.459

Биеийн эсэргүүцэл нь өөр өөр хэсгүүдэд харилцан адилгүй байх бөгөөд идэвхгүй электродын биетэй үүсгэж буй контакт, идэвхтэй электрод, идэвхгүй электродын хоорондын зай зэргээс хамаарна.

Тодорхой эд эсийн эсэргүүцэл нь цахилгаан дамжуулж буй эд эсийн уртыг хөндлөн огтлолын талбайд харьцуулж тухайн эсийн цахилгааны хувийн эсэргүүцэлд үржүүлсэн хэмжээ юм.

III. СУДАЛГААНЫ ХЭСЭГ

Эрүүл мэндийн байгууллагын тусламж, үйлчилгээнд ашиглагдаж байгаа тоног төхөөрөмж, багаж, хэмжих хэрэгслийг улсын баталгаажуулалт, шалгалт, тохируулгад бүрэн хамруулах нь оношилгоо, эмчилгээг сайжруулах, хүн амд үзүүлж байгаа эрүүл мэндийн тусламж, үйлчилгээний чанарын түвшнийг дээшлүүлэхэд нөлөөлөх гол хүчин зүйл болно. [3]

Эрүүл мэндийн салбарт ашиглагдаж байгаа хэмжих хэрэгсэл, тоног төхөөрөмжийн найдвартай, хэвийн, үнэн зөв ажиллагааг хангах, тэдгээрийг тогтоосон хугацаанд нь хяналт шалгалтад бүрэн хамруулах тогтолцоог бий болгох үндсэн дээр эрүүл мэндийн салбарын тусламж, үйлчилгээний чанарыг сайжруулахад дэмжлэг үзүүлэхэд оршино.

Өндөр давтамжийн цахилгаан мэс заслын аппаратын гаралтын параметрүүдийг шалгах:

Fluke QA-ES III маркийн хэмжилтийн анализатор нь олон улсын стандартын дагуу өндөр давтамжийн цахилгаан мэс заслын аппаратын гаралтыг хэмжихэд ашиглах нарийн мэдрэг төхөөрөмж юм. [4]

2-р зураг. FLUKE QA-ES III маркийн өндөр давтамжийн цахилгаан мэс заслын аппаратад хэмжилт баталгаажуулалт хийх анализатор

Энэхүү хэмжилтийн анализатор нь дараах хэмжилтүүдийг хийнэ. Үүнд:

- Чадлын тархалтыг хэмжих
- Crest factor хэмжих
- Радио давтамжийн гүйдлийн алдагдлыг хэмжих

• Идэвхгүй электродын нэвчилтийн гүйдлийг хэмжих

Хэмжилт хийх хугацаа ба эсэргүүцлийн утгыг тохируулж өгнө. ‘Load’ ачаалал нь 10 – 5200 Ом хүртэл эсэргүүцлээр хэмжилт хийнэ. ‘Delay’ хугацааны хязгаар нь 0.2 секунд – 4.0 секунд хүртэл хэмжилт хийнэ.

Аливаа хэмжих хэрэгсэл, тоног төхөөрөмжийг ашиглалтын явцад нь болон засвар үйлчилгээний дараа тухайн төхөөрөмжийн физик хэмжигдэхүүний утга нь техникийн тодорхойлолтод заагдсан хязгаартаа гарч буй эсэхийг шалгах, ингэж тохируулга хийгдсэн хэмжих хэрэгсэл, тоног төхөөрөмжөөс хүлээгдэж буй үр дүн нь үйл ажиллагааны чанар, аюулгүй ажиллагааны баталгаажилт болдог. [5]

Хэмжилт: Тусгай зориулалтын техник хэрэгслийн тусламжтайгаар туршилт, харьцуулах замаар физик хэмжигдэхүүний тоон утгыг тогтоох тооцоолох цогц үйл ажиллагаа юм.

Хэмжих хэрэгсэл: Хэмжилт хийхэд ашиглагдаж байгаа нормчлогдсон хэмжилзүйн үзүүлэлт бүхий, хэмжлийн нэгжийг хуулбарлан [6] гаргах буюу хадгалж байгаа техник хэрэгслийг хэлнэ.

Хэмжилт гүйцэтгэх аргачлал: Хэмжилт гүйцэтгэхэд үндэслэл болгосон физикийн зарчим, тухайн хэмжих хэрэгслийг ашиглах нөхцөл, арга зүйг тогтоосон журмыг “стандарт заавар” -ыг хэлнэ.

Хэмжлийн үр дүн: Хэмжилт хийхэд гаргаж авсан тоон утга.

Хэмжлийн алдаа: Хэмжлийн үр үн болон тухайн хэмжигдэхүүний жинхэнэ утгын хоорондын зөрүү.

Хэмжих хэрэгслийн баталгаажуулалт: Тухайн хэмжих хэрэгсэл нь шаардлагадаа тохирч байгааг шалгах туршилт юм.

Хэмжилтийн цогц үйл ажиллагаанд: Хэмжил гүйцэтгэгч, тусгай зориулалтын шалгалт, баталгаажуулалтад хамрагдах, хэмжих хэрэгсэл түүний холбогдох техникийн шаардлага, физик хэмжигдэхүүний тодорхойлох арга, аргачлал, шаардлагатай орчны нөхцөл болон тэдгээрийн хоорондын хамаарлыг тооцох, тохируулгын ажиллагаа юм.

Нэр томьёо, тодорхойлолт

Гаралтын чадал: Өндөр давтамжтай цахилгаан гаралтын чадал

Чадлын тархалт/гаралт: Богино хугацаанд тархаж байгаа цахилгаан чадлын тархалт

Техникийн шаардлага: Шалгалт баталгаажуулалтыг дараах техникийн шаардлагыг хангасан анализатороор хийж гүйцэтгэнэ. Үүнд:

ХЭМЖИХ ХЯЗГААР

ХҮСНЭГТ 3

№	Хэмжигдэхүүн	Хэмжих нэгж	Хэмжих хязгаар
1	Давтамжийн урт	Гц	3 - 10
2	Гүйдэл	мА	20-200
3	Ачааллын эсэргүүцэл	Ом	25 Ом - ийн алхамтайгаар 10 - 2500 хязгаарын хооронд 100 Ом-ийн алхамтай 2500-200 хязгаарын хооронд
4	Хүчдэл	кВ	0 - 10

Ажиллуулах болон хадгалах орчны нөхцөл

- Ажиллах орчны температур 15°C – 35 °C
- Хадгалах орчны температур 0 °C – 50 °C
- Харьцангуй чийгшил 80 % ихгүй

Хэмжлийн нэгж:

- Гаралтын чадал Вт (W) нэгжээр
- Өндөр давтамжийн алдагдал гүйдлийг миллиампер (mA) нэгжээр тус тус илэрхийлнэ.

ЗӨВШӨӨРӨГДӨХ ХЯЗГААР

ХҮСНЭГТ 4

№	Хэмжигдэхүүн	Хэмжих нэгж	Зөвшөөрөгдөх хязгаар
1	Гаралтын чадал	Вт	±15 %
2	Чадлын тархалт/гаралт	Вт	±15
3	Өндөр давтамжийн алдагдал гүйдэл /монополяр/	мА	±100
4	Өндөр давтамжийн алдагдал гүйдэл /биполяр/	мА	±100

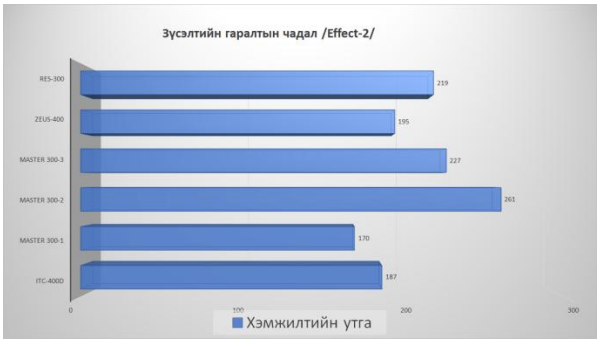
Хэмжилт: Цахилгаан мэс заслын аппаратад жилд 2 удаа шалгалт баталгаажуулалт хийнэ.

Шалгалт баталгаажуулалтад бэлтгэх: Цахилгаан мэс заслын аппаратын электродыг цахилгаан схемийн дагуу анализаторт холбож ерөнхий мэдээллийг тэмдэглэнэ.

Хэмжилт хийсэн үзүүлэлтүүд:

3-р зураг. Зүсэлтийн гаралтын чадал Effect 1 горимд хийсэн хэмжилт

Зүсэх горим дах гаралтын чадал Effect-1 горимд хэмжих утгыг 200 Вт буюу 50% хэмжилтийн утга, дээд хязгаар 230 Вт, доод хязгаар нь 170 Вт тохируулан хэмжилтийг хийв. Уг аппаратууд нь 6-н горим дах өгөгдсөн утганы нь дээд доод хязгаараас ихгүй хэвийн ажиллаж байна.



4-р зураг. Зүсэлтийн гаралтын чадал Effect 2 горимд хийсэн хэмжилт

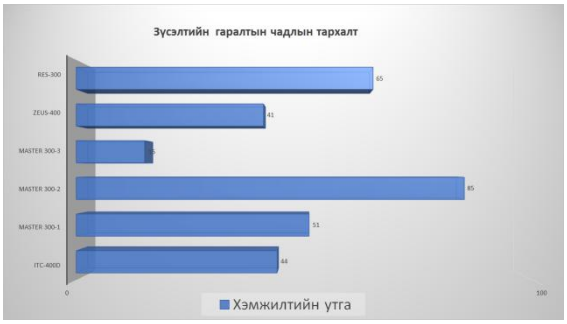
Зүсэх горим дах гаралтын чадал Effect-2 горимд хэмжих утгыг 203 Вт буюу 70% хэмжилтийн утга, дээд хязгаар 233 Вт, доод хязгаар нь 172 Вт тохируулан хэмжилтийг хийв. Уг горимд өгөгдсөн утга нь дээд доод хязгаараас ихгүй тоног төхөөрөмжүүд нь уг горимд хэвийн ажиллаж байна.

5-р зураг. Зүсэлтийн гаралтын чадал Effect 3 горимд хийсэн хэмжилт

Зүсэх горим дах гаралтын чадал Effect-3 горимд хэмжих утгыг 200 Вт буюу 100% хэмжилтийн утга, Дээд хязгаар 230 Вт, доод хязгаар нь 170 Вт тохируулан хэмжилтийг хийв. Уг горимд өгөгдсөн утга нь дээд, доод хязгаараас ихгүй тоног төхөөрөмжүүд нь хэвийн ажиллаж байна.

6-р зураг. Түлэлтийн гаралтын чадал Effect 1 горимд хийсэн хэмжилт

Түлэх горим дах гаралтын чадал Effect-1 горимд хэмжих утгыг 50 Вт буюу 50% хэмжилтийн утга, дээд хязгаар 69 Вт, доод хязгаар нь 51 Вт тохируулан хэмжилтийг хийв. Уг 3 аппарат горимд өгөгдсөн утга нь дээд, доод хязгаараас ихгүй хэвийн ажиллаж байгаа бол Master 300-3, master 300-1, ICT-400D 3н аппарат нь өгөгдсөн хамгийн бага утгын хязгаарт хүрэхгүй хэвийн бус байна.

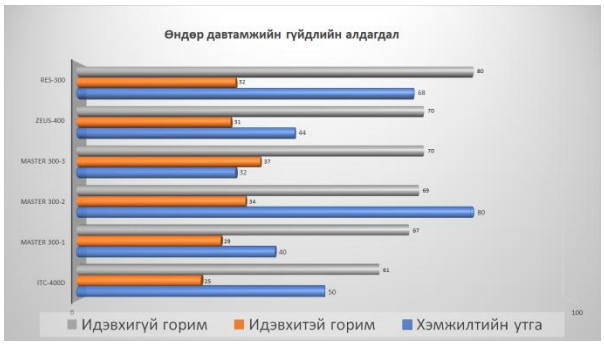


7-р зураг. Зүсэлтийн гаралтын чадлын тархалтад хийсэн хэмжилт

Зүсэх горим дах гаралтын тархалтыг 50 Вт буюу 125 Ом, дээд хязгаар 80 Вт, доод хязгаар нь 30 Вт тохируулан хэмжилтийг хийв. 5 аппарат уг горимд өгөгдсөн утга нь дээд, доод хязгаарын утгаас ихгүй хэвийн ажиллаж байгаа харагдаж байгаа бол Master 300-2 маркийн аппарат нь өгөгдсөн хамгийн их гарч байгаа нь хэвийн ажиллахгүй байна.

8-р зураг. Түлэлтийн гаралтын чадлын тархалтад хийсэн хэмжилт

Түлэх горим дах гаралтын тархалтын утгыг 50 Вт буюу 125 Ом, дээд хязгаар 80 Вт, доод, хязгаарыг 30 Вт-д тохируулан хэмжилтийг хийв. Уг горимд өгөгдсөн утга нь дээд, доод хязгаарын утгаас ихгүй хэвийн ажиллаж байна.



9-р зураг. Өндөр давтамжийн гүйдлийн алдагдалд хийсэн хэмжилт

Өндөр давтамжийн гүйдлийн алдагдалд хэмжих утгыг 300 Вт буюу 200 Ом, дээд хязгаар 100 Вт, доод хязгаар нь 0 Вт-д тохируулан хэмжилтийг хийв. Уг горимд өгөгдсөн дээд, доод хязгаараас ихгүй уг горимд хэвийн ажиллаж байна.

ДҮГНЭЛТ

Fluke QA-ES III хэмжилтийн анализаторoор өндөр давтамжийн цахилгаан мэс заслын 6-н аппаратанд горим тус бүр дээр хэмжилт хийв.

Зүсэх горимын гаралтын чадал Effect-1, Effect-2 Effect-3 горимууд дах дээд, доод хязгаарын утганд тохируулж хэмжилтийг хийхэд хэвийн байв.

Түлэх горим дах гаралтын чадал Effect-1-д хэмжих утгыг 50 Вт буюу 50% хэмжилтийн утга, дээд хязгаар 69 Вт, доод хязгаар нь 51 Вт тохируулж хэмжилтийг хийв. Уг горимд өгөгдсөн утга нь дээд, доод хязгаарын утгат 3 аппарат хэвийн ажиллаж байсан бол Master 300-3, master 300-1, ICT-400D 3н аппарат нь өгөгдсөн хамгийн бага хязгаарт хүрэхгүй хэвийн бус байна.

Зүсэх горимын гаралтын тархалтыг хэмжих утгыг 50 Вт буюу 125 Ом, дээд хязгаар 80 Вт, доод хязгаар нь 30 Вт тохируулж хэмжилтийг хийв. Уг горимд өгөгдсөн утга нь дээд, доод хязгаарын утгад 5 аппарат хэвийн ажиллаж байгаа бол Master 300-2 маркийн аппарат нь өгөгдсөн хамгийн их хязгаараас их, хэвийн бус байна.

Түлэх горим дах гаралтын тархалтын утгыг 50 Вт буюу 125 Ом, дээд хязгаар 80 Вт, доод хязгаар нь 30 Вт тохируулж хэмжилтийг хийв. Өгөгдсөн утга нь дээд, доод хязгаарын утгаас ихгүй хэвийн ажиллаж байна.

Өндөр давтамжийн гүйдлийн алдагдлын утгыг 300 Вт буюу 200 Ом, дээд хязгаар 100 Вт, доод хязгаар нь 0 Вт тохируулж хэмжилтийг хийв. Уг горимд өгөгдсөн дээд, доод хязгаарын утгаас ихгүй хэвийн ажиллаж байна.

Өндөр давтамжийн цахилгаан мэс заслын аппаратны хэвийн ажиллагааг хангахын тулд 6 сар тутамд анализатороор хэмжилт хийж баталгаажуулан ашигладаг.

Өндөр давтамжийн цахилгаан мэс заслын аппаратны урсгал засвар болон хугацаат сэлбэгийг тухай бүрд солих, хэвийн үйл ажиллагааг тогтмол шалгаж хяналтын хуудас боловсруулан хагалгаа эхлэхийн өмнө хяналтын хуудасны дагуу шалгаж хэвших нь тоног төхөөрөмжийн хэвийн үйл ажиллагаа болон насжилтанд эергээр нөлөөлөхөөр байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] Д.Пүрэвдаш, М.Алтанцэцэг “Эмнэлгийн техник”, ШУТИС, Эрчим Хүчний Сургууль, Улаанбаатар хот, 2010 он

[2] Д.Пүрэвдаш “Клиникийн тоног төхөөрөмжүүдийн хэвийн үйл ажиллагаа”, Эрчим Хүчний Сургууль, Улаанбаатар хот, 2023 он

[3] Монгол Улсын Шадар сайдын 2015 оны 117 дугаар “Хэмжил зүйн, ажил үйлчилгээний төлбөрийн хэмжээг шинэчлэн батлах” тухай тушаал

[4] FLUKE QA-ES III маркийн хэмжилт баталгаажуулалт хийх анализаторын ашиглах гарын авлага

[5] Эрүүл мэндийн сайдын 2015 оны 249 дүгээр “Эмнэлгийн тоног төхөөрөмжид шалгалт баталгаажуулалт хийх тухай” тушаал

[6] Цахилгаан мэс заслын аппаратанд шалгалт баталгаажуулалт хийх арга аргачлал

[7] European Society of Radiology (ESR), "Radiation Dose Reduction with AI," (2022)

[8] University of Tokyo, "Optimized AI-based X-ray Analysis," (2023)

[9] Samei, E., & Flynn, M. J “*Advances in Digital Radiography*. Radiographics” (2003).

[10] ICRP. “*The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. Elsevier” (2007).

[11] European Society of Radiology (ESR). "AI in Radiology: Impact and Future Directions." *Insights into Imaging*, 11(1), 101. (2020).

[12] Монгол улсын эрүүл мэндийн яам. “*Рентген технологийн судалгаа ба хөгжлийн тайлан”* (2023)

[13] Монгол Улсын Эрүүл мэндийн яам. *Эмнэлгийн мэдээллийн систем ба дүрс оношилгооны стандарт*. Дэлхийн Эрүүл Мэндийн Байгууллага (2017).

ДОКТОР ОЮУТНУУДЫН ИЛТГЭЛҮҮД

CPA3-LD ЗАГВАРЫН МЕМБРАН ЭЛЕМЕНТИЙГ ХИМИЙН АРГААР УГААСАН ТУРШИЛТЫН ҮР ДҮНГЭЭС

Даваасүрэнгийн АНУДАРЬ, Батсүхийн ОЮУНСУВД
Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Дулааны инженерийн салбар
Холбогдох зохиогчийн и-мэйл хаяг: anudari.d@must.edu.mn

***Хураангуй*: Эсрэг осмосын төхөөрөмж нь зөвхөн дулааны цахилгаан станцын ус цэвэршүүлэхэд төдийгүй бусад үйлдвэрлэлийн салбарт, түүнчлэн бохир ус цэвэрлэхэд хэрэглэгдэж байна. Үр ашигтай ажиллахад тулгарч буй гол хязгаарлалтуудын нэг нь бага зэрэг уусдаг давсуудаас шалтгаалан хаг, хурдас тогтож мембраныг бохирдуулах явдал юм. Мембран элементийг тогтоосон ашиглалтын хугацаанд нь хүртэл зохистой ашиглахын тулд түүний гадаргуугийн бохирдлыг химийн аргаар угаах үеийн давтамж ба хугацааг зөв тогтоох, химийн угаалгын бодис болон тун, хэмжээг оновчтой тодорхойлох нь маш чухал юм. Энэхүү өгүүлэлд CPA3-LD загварын мембран элементийг химийн аргаар угаасны дараа түүний үзүүлэлт хэрхэн өөрчлөгдсөн талаар авч үзсэн болно.**

Түлхүүр үг: мембран элемент, эсрэг осмос, мембраны бохирдол, хаг хурдас

I. УДИРТГАЛ

Хэрэв хагас нэвтрүүлэгч мембранаар зааглагдсан давс багатай цэвэр ус ба давстай уусмалын давстай талд нь осмосын даралтаас их даралтыг өгвөл уусгагч нь өндөр концентрацитай уусмалын талаас мембранаар дамжин бага концентрацитай буюу цэвэр устай тал руу урсдаг ба энэхүү үзэгдлийг эсрэг осмос гэдэг [1]. Эсрэг осмос нь бохир усыг давсгүйжүүлэх, цэвэршүүлэх чиглэлээр хамгийн өргөн хэрэглэгддэг, мембранд суурилсан дэвшилтэт технологийн нэг гэж тооцогддог [2].

Мембрант технологи нь тасралтгүй хөгжиж сайжирч байгаа хэдий ч мембран элементийн бохирдол нь хүндрэл үүсгэсээр байна [3]. Эсрэг осмосын төхөөрөмжийн ашиглалтын явцад түүний мембран элементийн маш жижиг нүх сүвэнд их хэмжээний органик болон органик бус хольц, түүнчлэн бичил биетүүд хуримтлагддаг бөгөөд үүний үр дүнд цаг хугацаа өнгөрөх тусам мембраны гадаргуу нь уусдаггүй бодисын тунадасаар бөглөрдөг тул мембраны хувийн бүтээмж, хольцыг барих чадвар, давс нэвтрүүлэх чадвар зэрэг үзүүлэлтүүд буурч ноцтой асуудлыг үүсгэдэг [4,5]. Эдгээр үзүүлэлтүүдийг сайжруулахын тулд мембран элементийн гадаргууг химийн уусмалаар угаах шаардлага гардаг. Орчин үед мембран элементийг угаах гидравлик болон химийн цэвэрлэгээ гэсэн хоёр төрлийн арга байдаг [6].

Эсрэг осмосын төхөөрөмжийн мембраны бохирдлыг гадаад бохирдол буюу гадаргуугийн ба дотоод бохирдол гэсэн хоёр элементээс бүрдэнэ гэж тодорхойлсон [7]. Мембран элементийн гадаргуугийн бохирдол, нүхний бөглөрөлтэй тэмцэхэд химийн угаалгын аргууд үр дүнтэй байдаг тул бодисын концентрацийг зөв сонгох шаардлагатай [7,8]. Дараах бодисыг угаалгын бодис болгон ашиглаж болно. Үүнд:

- хүчтэй (фосфорын) ба сул (нимбэгийн) хүчил;
- шүлт (натрийн гидроксид);
- ферментүүд;
- комплекс нэгдэл (этилендиаминтетра цууны хүчил);
- ариутгагч бодис (устөрөгчийн хэт исэл ба гипохлорид натри NaOCl);
- органик уусгагчууд

Химийн цэвэрлэгээний аргуудыг авч үзэхэд аль болох мембраны гадаргууг гэмтээхгүй, хамгийн бага сөрөг нөлөөтэйгөөр цэвэрлэх чадвартай бодисыг сонгож авдаг [8]. Мембран элементийн гадаргууд хуримтлагдсан бохирдол нь бүгд найрлага, бүтэц, ширхгийн хэмжээгээрээ ялгаатай байдаг [9].

Мембраны бохирдлын үндсэн төрлүүдэд органик бус (хаг, хурдас), коллоид, органик болон биологийн гаралтай хаг хурдсууд (био хальс) орно [10]. Хаг хурдас нь кальцийн карбонат ($CaCO_3$), кальцийн сульфат ($CaSO_4$), цахиур зэрэг муу уусдаг давсуудаар үүсгэгддэг [11].

II. СУДАЛГААНЫ ОБЪЕКТ

Энэхүү судалгаанд ашигласан мембран элемент нь АНУ-ын HYDRANAUTICS үйлдвэрийн полиамид холимог бүтэцтэй 8"– ийн диаметр бүхий CPA3-LD загварын мембран элемент бөгөөд түүний техникийн үзүүлэлтүүдийн 1-р хүснэгтэд харуулсан болно.

CPA3-LD ЗАГВАРЫН МЕМБРАН ЭЛЕМЕНТИЙН ТЕХНИКИЙН ҮЗҮҮЛЭЛТ

1-Р ХҮСНЭГТ

Үзүүлэлтүүд		Хэмжээ
1	Хэвийн бүтээмж	41.6 $м^3$/хоног
2	Гадаргуугийн талбай	37.0 $м^2$
3	Хольцыг барих чадвар (NaCl) – иор	99.6 %
4	Ажлын хамгийн их даралт	41 Бар
5	Ажлын хамгийн их температур	45 ^{0}C

Үзүүлэлтүүд		Хэмжээ
6	Ажиллах pH-ийн утга	3.0-10
7	Даралтын уналтын дээд хэмжээ	0.69 Бар

Цуглуулагч хоолойд бэхлэгдсэн мембран нь дахин сэргээгддэг.

1-р зураг. CPA3-LD мембран элемент

III. Судалгааны арга зүй

A. Мембраны хувийн бүтээмж

Нэгж хугацаанд мембраны нэгж талбайгаар нэвтрэн гарах цэвэршүүлсэн усны хэмжээ (1 м^2 мембраны талбай дундуур нэг хоног эсвэл цагт нэвчин гарах цэвэршүүлсэн усны хэмжээ)-г мембраны хувийн бүтээмж (J_w) м^3/(м^2·хоног), м^3/(м^2·ц) гэнэ [12].

$$J_w = A(\Delta p - \Delta\pi) \qquad (1)$$

Энд: A - нь мембраны уусгагчийн нэвчих коэффициент (эзлэхүүн), тодорхой мембран дахь уусгагчийн нэвчих чадварыг илэрхийлдэг, (м/с·Па); Δp-нь мембраны хоёр талын даралтын зөрүү, Па; $\Delta\pi$ - нь мембраны хоёр талын осмосын даралтын зөрүү, Па.

B. Мембраны идэвхжилт

Цэвэршүүлэхээр орж буй усанд ууссан бодисын нийт хэмжээг мембранд баригдаж үлдсэн бодисуудын хэмжээнд харьцуулж хувиар илэрхийлсэн үзүүлэлт юм [12]. Эсрэг осмосын системд ажиллагааны тодорхой нөхцөлд (даралт, температур, pH, концентратын зэрэг) давслаг (NaCl) -ийн хэмжээгээр тооцож үзнэ.

C. Давс нэвчилтийн зэрэг

Мембранд баригдаж үлдэхгүйгээр нэвчин өнгөрч цэвэршүүлсэн усанд орж буй нийт давслагийн хэмжээг цэвэршүүлэхээр орж буй усны нийт давслагийн хэмжээнд харьцуулж хувиар илэрхийлнэ [12].

D. Хольцыг барих чадвар R

Мембранд баригдаж үлдсэн нийт давслагийн хэмжээг цэвэршүүлэхээр орж буй усны нийт давслагийн хэмжээнд харьцуулж хувиар илэрхийлнэ [13].

$$R = \left(1 - \frac{C_p}{C_w}\right) \times 100\% \qquad (2)$$

Ихэвчлэн хэмжигдэхүүн нь хадгалалтын буюу давсгүйжүүлэх түвшнийг илэрхийлдэг.

$$R = \left(1 - \frac{C_p}{C_b}\right) \times 100\% \qquad (3)$$

Энд: C_p - үндсэн шингэний концентраци, C_w -өндөр даралтын талын мембран уусмалтай харилцан үйлчлэх хил заагийн концентраци, C_b - мембраныг нэвчих шингэний концентраци.

E. Цэвэршүүлсэн усны гаралтын зэрэг

Нийт боловсруулсан усны эзлэхүүнийг мембранд орж байгаа нийт усны эзлэхүүнд харьцуулж хувиар илэрхийлнэ [14].

F. Уусмалын масс дамжуулалтын параметр

D_{SM}/K_L уусмал мембраны нэвчих шинж чанарыг тусгадаг. Түүний утга бага үед уусмал мембраныг нэвчих хурд бага, мембран уусмалыг тусгаарлах ашигтай түвшин өндөр байдгийг илэрхийлдэг [14].

IV. Судалгааны ажлын үр дүн

CPA3-LD загварын мембран элементийг химийн аргаар угаахын өмнө түүний дундаж үзүүлэлтийг тодорхойлсон ба 2-р хүснэгтэд үзүүлэв.

CPA3-LD ЗАГВАРЫН МЕМБРАН ЭЛЕМЕНТИЙН ХИМИЙН АРГААР УГААХЫН ӨМНӨХ ҮЗҮҮЛЭЛТ

2-Р ХҮСНЭГТ

Үзүүлэлтүүд		Хэмжээ
1	Хувийн бүтээмж (J)	1949.8 л/м^2·цаг
2	Хольцыг барих чадвар (R)	95.03 %
4	Давс нэвтрүүлэх чадвар (SP)	4.97 %
5	Мембран дээрх даралтын уналт (ΔP)	6.9 ата
6	Ажиллах pH-ийн утга	3.0-10
7	Даралтын уналтын дээд хэмжээ	0.69 Бар

Ашиглалтын үеийн анхны параметртэй харьцуулахад мембран элементийн хувийн бүтээмж 507.31 л/м^2·цаг буюу 20.6 %-иар буурсан, мембран элементийн хольцыг барих чадвар 3.15 %-иар тус тус буурсан байна. Мөн мембран дээрх даралтын уналт 18.7 % -д хүрсэн нь түүний гадаргуу их хэмжээний хольцуудаар бохирдсон, химийн угаалга хийх шаардлагатай гэдгийг харуулж байна.

Химийн угаалгыг нимбэгний хүчил болон натрийн шүлтээр хийсэн ба химийн угааргын бодисын үзүүлэлтүүдийг 3-р хүснэгтэд харуулсан болно.

ХИМИЙН УГААЛГЫН БОДИСЫН ҮЗҮҮЛЭЛТҮҮД

3-Р ХҮСНЭГТ

Үзүүлэлтүүд		Хэмжээ	
		Нимбэгний хүчил	***Натрийн шүлт***
1	Ажлын уусмалын концентраци	2 %	0.1 %
2	pH	2.1	11.87

Химийн угаалгыг хийхдээ осмосын төхөөрөмжийн цэвэр усны гарах талын ерөнхий хаалтыг бүрэн онгойлгох шаардлагатай ба энэ нь модуль дахь мембран элементийн цэвэршүүлсэн усны гарах хоолойд даралт үүсгэхгүй байж мембран элементийн гадаргууг гэмтээхгүй байх зорилготой юм. Угаалгыг мембран элементийн гадаргуугийн бохирдолт болон бөглөрсөн байдлаас шалтгаалан нимбэгний хүчлийн уусмалаар 2 цаг циркуляци хийж угаасны дараа 4 цаг дэвтээлтийг хийсэн. Үүний дараа дахин 1 цаг циркуляци хийсний дараа уусмалыг бүрэн юүлж цэвэр усаар зайлалт хийж усны pH үзүүлэлтийг 6.1 хүрэхэд хүчлийн угаалгыг дуусгав. Нимбэгний хүчлийн угаалгад нийт 18 кг бодис зарцуулагдсан байна. Хүчлийн угаалгын үеийн явцыг 2 ба 3-р зургуудаар тус тус үзүүлэв.

2-р зураг. Нимбэгний хүчлийн угаалгын эхний 3 мин

3-р зураг. Нимбэгний хүчлийн угаалга эхэлснээс хойш 10 минутын дараа

Угаалга эхэлсэнээс хойш эхний 3 минутад нимбэгний уусмалын өнгө төдийлөн өөрчлөгдөөгүй байснаа 10 минут болмогц ногоон өнгөтэй болж хувирсан. Энэ нь мембран элементийн гадаргуу дахь бохирдол нь төмрийн нэгдэл агуулсан байсныг илтгэх бөгөөд төмрийн нэгдэл нь нимбэгний хүчилтэй урвалд орж нимбэг хүчлийн төмрийн ногоон өнгөтэй давсыг үүсгэдэг.

Хүчлийн угаалга дууссаны дараа натрийн шүлтийн угаалгыг эхэлсэн ба энэ угаалгын үед цахиур хүчлийн бүх хаг хурдас угаагдана. Цахиурын бүх төрлийн нэгдэл нь натрийн шүлттэй урвалд орж хүрэн шаргал өнгийн давсуудыг үүсгэдэг. Натрийн шүлтийн уусмалаар 1 цаг циркуляци хийсний дараа 1 цаг дэвтээлт хийв. Дараа нь дахин 1 цаг циркуляци хийж уусмалыг химийн угаалгын бакны хаягдлын шугамаар юүлэв. Үүний дараа угаалгын цэвэр усны чанартай адил болтол зайлалтыг хийж химийн угаалгыг дуусгав. Натрийн шүлтийн угаалгын үеийн байдлыг 4-р зурагт харуулав.

4-р зураг. Натрийн шүлтийн угаалга

Хүчил ба шүлтийн угаалга хийж дууссаны дараа эсрэг осмосын төхөөрөмжийг ажиллагаанд залгаж угаалгын өмнө ба дараах үеийн ажиллагааны үндсэн үзүүлэлтүүдийг харьцуулан 4-р хүснэгтэд үзүүлэв.

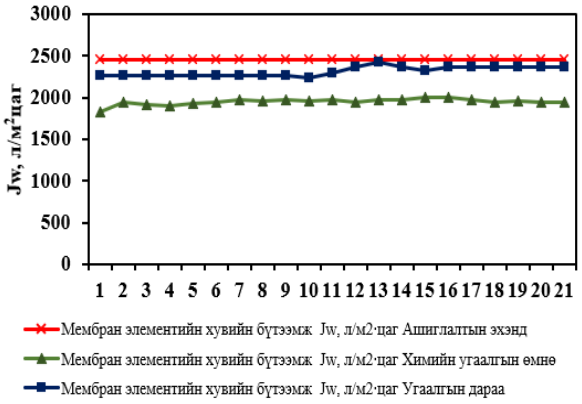
ХИМИЙН УГААЛГЫН ДАРААХ МЕМБРАН ЭЛЕМЕНТИЙН АЖИЛЛАГААНЫ ХАРЬЦУУЛСАН ҮЗҮҮЛЭЛТҮҮД

4-Р ХҮСНЭГТ

№	Мембран дээрх даралтын уналт ΔP , ата		Мембран дээрх даралтын уналт , %		Мембран элементийн хувийн бүтээмж J_w, л/м^2·цаг		Хольцыг барих чадвар R, %		Давс нэвтрүүлэх чадвар SP, %	
	өмнө	*дараа*	*өмнө*	*дараа*	*өмнө*	*дараа*	*өмнө*	*дараа*	*өмнө*	*дараа*
1	7.04	7.65	16.3	9.89	1826.5	2264.15	93.2	94	6.12	7.28
2	7.01	7.8	16.6	8.13	1942.4	2264.15	94.18	95.1	6.23	5.24
3	7.12	7.65	16.8	9.89	1911.4	2264.15	95.18	96	5.12	4.49
4	7.1	7.65	16.8	9.89	1894.3	2264.15	95.22	96.1	5	4.79
5	6.93	7.65	17.4	9.89	1923.6	2264.15	95.6	96.5	5.23	4.78
6	6.95	7.7	17.8	9.31	1946.8	2264.15	95.41	96.7	4.68	4.05
7	6.92	7.7	18.1	9.31	1968.3	2264.15	95.12	96.78	4.24	3.22
8	6.92	7.7	19	9.25	1956.2	2264.15	95.13	97.3	4.56	2.90
9	6.9	7.8	19.1	8.13	1978.4	2264.15	95.42	97.51	4.61	2.49
10	6.86	7.85	19.4	7.54	1963.86	2237.20	95.08	97.7	4.65	2.30
11	6.85	8.1	19.1	4.59	1967.3	2291.11	95.35	97.57	4.7	2.43
12	6.85	8.3	19.2	2.24	1946.2	2371.97	95.26	97.19	4.72	2.81
13	6.85	8.25	19.4	2.83	1971.5	2425.88	95.15	97.6	4.76	3.68
14	6.85	8.3	19.5	2.24	1967.4	2371.97	95.18	97.8	4.65	3.20
15	6.85	8.3	19.56	2.24	2003.6	2318.06	95.1	97.95	4.78	2.05
16	6.85	8.4	19.5	1.06	2005.1	2371.97	95.02	97.8	5.02	3.14
17	6.85	8.4	19.77	1.06	1978.3	2371.97	95.04	97.5	5.1	2.86
18	6.85	8.35	19.8	1.65	1948.2	2371.97	95.03	97.64	5.12	2.70
19	6.85	8.4	19.84	1.06	1951.8	2363.88	95.03	97.7	5.16	2.90
20	6.85	8.4	19.88	1.06	1941.4	2371.97	95.03	97.78	5.07	2.69
21	6.85	8.4	19.9	1.06	1944.2	2371.97	95.03	97.01	5.05	2.99
Дундаж	**6.9**	**8.03**	**18.7**	**5.35**	**1949.3**	**2315.1**	**95.03**	**97.01**	**4.97**	**3.47**

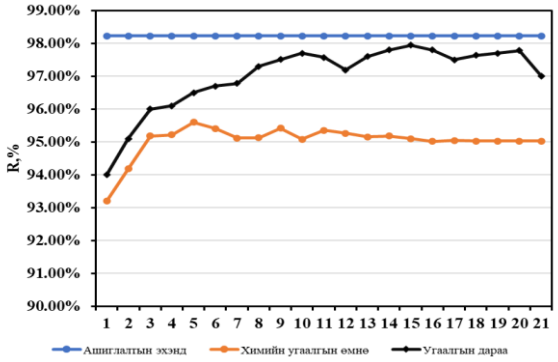
4-р хүснэгтээс харахад эсрэг осмосын мембрант төхөөрөмжийн даралтын уналт 13.35 %-иар буурч дунджаар 5.35 % болсон байна. Өөрөөр хэлбэл мембран элементийн гадаргуугийн бохирдолт химийн угаалга хийхээс өмнөх үетэй харьцуулахад 71.4 %-иар багассан байна.

5-р зураг. Мембрант төхөөрөмжийн даралтын уналт



6-р зураг. Мембран элементийн хувийн бүтээмж J_w, л/м^2·цаг

Зургаас харахад мембран элементийн хувийн бүтээмж J_w сайжирч дунджаар 2315.1 л/м^2·цаг буюу анх ашиглаж эхэлсэн үзүүлэлт болох 2457.11 л/м^2·цаг рүү дөхсөн байгаа нь харагдаж байна.



7-р зураг. Мембраны хольцыг барих чадвар R, %

Химийн угаалгын үр дүнд мембран элементийн хольцыг барих чадвар R дунджаар 97.01 %-д хүрсэн байна.

V. ДҮГНЭЛТ

Эсрэг осмосын аргаар усыг давсгүйжүүлэхэд ашиглаж байгаа мембран элементийн гадаргуу бохирдох асуудал байнга тулгарч байгаа өнөө үед түүнийг химийн аргаар угааж, анхны үзүүлэлтэд хүргэх нь чухал ач холбогдолтой юм. CPA3-LD загварын мембран элементийг химийн аргаар угаасны дараа түүний хольцыг барих чадвар 1.98%-иар нэмэгдэж, төхөөрөмжийн даралтын уналт 13.35 %-иар буурч, мембран элементийн хувийн бүтээмж 365.8 л/м^2·цаг-р нэмэгдсэн байна. Энэхүү туршилтаар эсрэг осмосын мембран элементийн гадаргууд төмрийн болон цахиур хүчлийн хаг хурдас давамгай үүсэж, бохирдуулж байгааг тогтоосон.

Ус мембран дундуур нэвчих үед өөрөөр хэлбэл орж буй усны урсгал цэвэршүүлсэн ус ба хаягдал гэж хуваагдах үед бараг бүх давсны ионууд мембраны гадаргуугийн ойролцоох хязгаарын давхаргын үед үлдэнэ. Энэ үзэгдлийг концентрацийн туйлшрал гэдэг ба энэ үед мембрант модулийн гадаргуу дээрх давслагийн концентраци ихэсч гадаргуугийн осмосын даралтыг өсгөх ба эсрэг осмосын модулийн хувийн бүтээмжийг (цэвэршүүлсэн усны) бууруулна. Эсрэг осмосын процесст уусмалын концентрацийн туйлшралаар үүссэн мембраны бохирдлыг судлахгүй орхиж болохгүй юм. Цаашид концентрацийн туйлшралын тусламжтайгаар мембраны бохирдол үүсэх шалтгаан болон механизмын бүрэлдэхүүнийг илүү судалж дүрслэн харуулах шаардлага зүй ёсоор тавигдаж байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] С.Е. Беликова, “Водоподготовка. Справочник для профессионалов”, М.: 2007. С. 210-213.

[2] Zhao, Yan, Song, Lianfa, Ong, Say Leong “Fouling behavior and foulant characteristics of reverse osmosis membranes for treated secondary effluent reclamation”, 2010, J. Membr. Sci. 349 (1–2), 65–74.

[3] Yiantsios, S.G., Sioutopoulos, D., Karabelas, A.J., “Colloidal fouling of RO membranes: an overview of key issues and efforts to develop improved prediction techniques”, 2005, Desalination 183 (1–3), 257–272.

[4] Vogel, Dirk, Simon, Alexander, Ali Alturki, Abdulhakeem, Bilitewski, Bernd, Price, William E., Nghiem, Long D. “Effects of fouling and scaling on the retention of trace organic contaminants by a nanofiltration membrane: the role of cake-enhanced concentration polarisation”, 2010, Separ. Purif. Technol. 73 (2), 256–263.

[5] Meli´an-Martel, N., Sadhwani, J.J., Malamis, S., Ochsenkühn-Petropoulou, M. “Structural and chemical characterization of long-term reverse osmosis membrane fouling in a full scale desalination plant”, 2012, Desalination 305, 44–53.

[6] С.В. Черкасов, “Обратный осмос. Теория и практика применения. Мировые водные технологии”, 2017. №5. С. 3-5.

[7] Hoek, Eric M.V., Allred, Jeff, Knoell, Tom, Heon Jeong, Byeong “Modeling the effects of fouling on full-scale reverse osmosis processes”, 2008, J. Membr. Sci. 314 (1–2), 33–49.

[8] Janette W., Tim V.H., “Current problems of oily wastewater treatment”, Agromisa Foundation and CTA, Wageningen: 2006. P. 13-16.

[9] С.П. Высоцкий, “Загрязнение мембран в обратноосмотических установках и методы продления ресурса мембран”, Донецк: АДИ ГВУЗ ДонНТУ, 2010.С. 67-70.

[10] Jiang, Shanxue, Li, Yuening, Ladewig, Bradley P., “A review of reverse osmosis membrane fouling and control strategies”, 2017, Sci. Total Environ. 595, 567–583.

[11] Kumar, Sanjiv, Kumar Naiya, Tarun, Kumar, Tarkeshwar “Developments in oilfield scale handling towards green technology-A review”, 2018, J. Petrol. Sci. Eng. 169 (November 2017), 428–444.

[12] Asif Matina, Faizur Rahmanb, Hafiz Zahid Shafic, Syed M. Zubaira “Scaling of reverse osmosis membranes used in water desalination:Phenomena, impact, and control; future directions”, 2019, Desalination 455, 135-157.

[13] Ilham Karmal, M’barek Belattar, Said Mohareb, Mohamed El housse, Said Ben-Aazza, Naima Hafid, Abdelaziz Ait Addi, Abdallah Hadfi, Rachid Ait Akbour, Mohamed Hamdani, Ali Driouiche “Structural and morphological characterization of scale deposits on the reverse osmosis membranes: Case of brackish water demineralization station in Morocco”, Groundwater for Sustainable Development 11, 2020, 100483

[14] В.И. Федоренко, И.Е. Кирякин “Производство ультрачистой воды с применением двухступенчатого обратного осмоса”, Критические технологии, 2004. № 4(24). С. 56-58.

УРЬДЧИЛСАН ТӨЛБӨРТ УХААЛАГ ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ СИСТЕМ: ШИНЭЧЛЭЛ, ХЭРЭГЖИЛТИЙН БОЛОМЖ

Жетписбай МАМАРБЕК[1] , Баасангийн БАТ-УНДРАЛ[2]
[1]Монгол улс,Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Цахилгааны инженерийн салбар

Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: Mambojet89@gmail.com[1]

Хураангуй: Монгол Улсын цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээ сүүлийн жилүүдэд тогтвортой өсөж байна. Эрчим хүчний нөөцийн хязгаарлалт, алдагдлыг бууруулах шаардлагатай нөхцөлд урьдчилсан төлбөрт ухаалаг эрчим хүчний систем (Prepaid Smart Metering System) нэвтрүүлэх нь зохистой шийдэл юм. Энэхүү судалгааны зорилго нь урьдчилсан төлбөрт ухаалаг тоолуурын системийн давуу болон сул талыг тодорхойлж, Монгол Улсад хэрэгжүүлэх боломжийг үнэлэхэд оршино. Дэлхийн олон улс уг системийг нэвтрүүлж, цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээний менежментийг сайжруулж байгаа жишээнүүдийг судалсан болно. Судалгааны үр дүнд уг системийг өрхийн болон аж ахуйн хэрэглээнд нэвтрүүлснээр цахилгаан хэмнэлт, төлбөрийн сахилга бат, цахилгааны хулгай буурах зэрэг давуу талуудыг тодорхойллоо.

Түлхүүр үг: цахилгаан эрчим хүч, ухаалаг тоолуур, цахим платформ, урьдчилсан төлбөр

I. ОРШИЛ

Монгол Улсын цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээ жилд **7-8%**-иар өсөж, 2024 онд **11.6 тэрбум кВт.ц**-д хүрэх төлөвтэй байна. Гэвч дотоодын үйлдвэрлэл энэ хэрэглээг хангаж чадахгүй байгаа тул **2.8 тэрбум кВт.ц**-ийг импортлох шаардлагатай болж байна. Эрчим хүчний найдвартай хангамжийг сайжруулахын тулд **нэмэлт эх үүсвэр барих, хэмнэлттэй хэрэглээг дэмжих, үр ашгийг нэмэгдүүлэх** бодлогыг хэрэгжүүлэх нь чухал байна.

Ухаалаг тоолуур болон **урьдчилсан төлбөрт систем** нь эрчим хүчний хэрэглээг илүү хянах, зүй зохистой удирдах боломжийг олгодог. Олон улсын туршлагаас харахад урьдчилсан төлбөрт системийг нэвтрүүлснээр:

- **Цахилгааны хулгай, өрийн асуудал багасдаг**
- **Төлбөрийн сахилга бат сайжирдаг**
- **Эрчим хүчний хэрэглээний хэмнэлт нэмэгддэг**

Энэхүү судалгаанд дэлхийн улс орнуудад хэрэгжиж буй **урьдчилсан төлбөрт ухаалаг эрчим хүчний системийн онцлог, үр нөлөө, Монгол Улсад нэвтрүүлэх боломж**-ийг авч үзсэн болно.

Одоогоор манай улсад цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээг хэмжихдээ дараах төрлийн тоолуурыг ашигладаг:

1. Электро-механик (индукцийн) тоолуур

- Хуучин загварын, механик ажиллагаатай.
- Нарийвчлал багатай тул сүүлийн жилүүдэд шинэчлэгдэж байна.
- Ихэвчлэн айл өрхүүд болон зарим байгууллагад ашиглагддаг.

2. Электрон (дижитал) тоолуур

- Илүү нарийвчлалтай, дэлгэцтэй, мэдээлэл хадгалах боломжтой.
- Зарим загвар нь алсын зайнаас мэдээлэл дамжуулах чадвартай.
- Орон сууц, албан байгууллага, үйлдвэрүүдэд өргөн хэрэглэгдэж байна.

3. Ухаалаг тоолуур (AMR, AMI системтэй)

- Автомат хэмжилт, алсын зайн мэдээлэл дамжуулах боломжтой.
- Хэрэглээний мэдээллийг төв серверт дамжуулж, бодит цагийн хяналт хийх боломжтой.
- Орон сууцны хороолол, үйлдвэр, худалдааны байгууллагуудад нэвтрүүлж эхэлж байна.
- Цахилгаан түгээх компаниуд (БЗӨБЦТС, УБЦТС, ДБЦТС) ухаалаг тоолуурын системийг өргөн нэвтрүүлж байгаа.

4. Урсгал тоолуур (Ахуйн болон аж үйлдвэрийн хэрэглээний)

- Томоохон үйлдвэр, дэд станцуудын хэрэглээг хянах зориулалттай.
- Хүчдэлийн болон гүйдлийн трансформатортай холбогдож ажилладаг.

II. ОНОЛ

1.Эрчим хүчний хэмжилт ба удирдлага

Ухаалаг тоолуур нь эрчим хүчний хэрэглээг бодит цагийн горимоор хэмжиж,төв сервер рүү өгөгдөл дамжуулдаг.

Хэрэглэгч зөвшөөрөгдсөн цахилгааны кредитийг ашиглаж байгаа үед систем хэвийн ажиллана. Кредит дуусахад цахилгаан тасарна.

2.Мэдээллийн дамжуулалт ба удирдлага

PLC(Power Line Communication)-Цахилгаан дамжуулах шугамаар өгөгдөл дамжуулах

GPRS/4G/5G-Гар утасны сүлжээг ашиглан мэдээлэл дамжуулах

RFID,NFC,QR код-Хэрэглэгчид цэнэглэх,мэдээлэл авахад хэрэглэгдэнэ.

3.Ухаалаг тоолуурын бүтэц

- **Цахилгаан хэрэглээний тооцоолол**

$$E = P \times t$$

Энд:

E-Хэрэглэсэн цахилгаан эрчим хүч(кВтц)

P-Ачааллын чадал(кВт)

t-Цаг хугацаа(цаг)

- **Төлбөр тооцоолол**

$$C = E \times R$$

Энд:

C-Эрчим хүчний нийт төлбөр

R-1кВтц-н тариф

4.Урьдчилсан төлбөрийн механизм

Хэрэглэгч тодорхой хэмжээний төлбөрийг тоолуур таа цэнэглэх үед тухайн төлбөрт тохирох хэмжээний цахилгаан хэрэглэж болно.

Тоолуурт үлдэгдэл багасах үед хэрэглэгчид мэдэгдэл очиж,дахин төлбөр хийх шаардлагатай болно.

Томьёонууд

1.Хэрэглэгчийн нийт хэрэглээг тодорхойлох томьёо:

$$E_{total} = \sum_{i=1}^{n} P_i \times t_i$$

Энд: E_{total}-Нийт хэрэглээ(кВтц), P_i-Тухайн цахилгаан төхөөрөмжийн чадал(кВт), t_i-Ашигласан хугацаа (цаг)

2.Тооцоолсон үлдэгдэл:

$$B = P - C$$

Энд: B-Үлдэгдэл баланс, P-Урьдчилсан төлсөн мөнгөн дүн, C-Одоогийн хэрэглээний зардал

3.Дундаж хэрэглээний тооцоолол:

$$E_{avg} = \frac{E_{total}}{T}$$

Энд: E_{avg}-Дундаж хэрэглээ(кВтц/хоног), T-Хэмжигдсэн нийт хугацаа(хоног)

Энэ систем нь хэрэглэгчдэд хэрэглээгээ хянах,төлбөрөө удирдах,эрчим хүч хэмнэх боломжийг олгодог бөгөөд цахилгаан түгээх компаниудад ч ашигтай байдаг.

III. СУДАЛГАА

1. Дэлхийн улс орнуудад хэрэгжиж буй жишээ

Урьдчилсан төлбөрт ухаалаг эрчим хүчний системийг дараах улсуудад амжилттай нэвтрүүлээд байна.

УРЬДЧИЛСАН ТӨЛБӨРТ УХААЛАГ ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ СИСТЕМ

1-Р ХҮСНЭГТ

Бүс нутаг	Улс	Хэрэгжүүлсэн байдал
Ази	Хятад	Эрчим хүчний хэмнэлт, ухаалаг сүлжээний бодлоготой уялдуулан нэвтрүүлсэн
	Энэтхэг	Хөдөө орон нутагт өргөн нэвтрүүлж, цахилгааны хулгайг бууруулсан
Европ	Их Британи	2025 он гэхэд бүх өрхийг ухаалаг тоолуураар хангах зорилготой
	Герман, Франц	Томоохон эрчим хүчний компаниуд урьдчилсан төлбөрт систем нэвтрүүлсэн
Хойд Америк	АНУ	Texas, California, Florida мужуудад өргөн хэрэглэгддэг
Африк	Өмнөд	Өр төлбөрийн асуудлыг шийдэх гол арга болсон
Австрали	Австрали	Хэрэглэгчийн сонголтоор ашиглах боломжтой

Цаашид цахилгаан эрчим хүчний төлбөрийн сахилга батыг сайжруулах, хэрэглээг оновчтой болгох зорилгоор илүү өргөн хэрэглэх төлөвтэй.

2.Урьдчилсан төлбөрт системийн үндсэн зарчим

1. **Төлбөр урьдчилан төлөх**

- Хэрэглэгч цахилгаан эрчим хүчний төлбөрийг хэрэглээндээ тааруулж урьдчилан төлнө.
- Дижитал платформ, ухаалаг тоолуур, гар утасны аппликэйшнээр дамжуулан хялбар гүйлгээ хийнэ.

2. **Эрчим хүчний хэрэглээг хянах**

- Ухаалаг тоолуур нь хэрэглэгчийн хэрэглэсэн эрчим хүчний хэмжээг хэмжиж, төлбөрийн үлдэгдэлтэй харьцуулна.
- Төлбөрийн үлдэгдэл дуусахад цахилгаан эрчим хүчийг автоматаар тасална.

3. **Цахим мэдээлэл**

- Хэрэглэгчид өдөр тутмын хэрэглээний мэдээллийг аппликэйшн эсвэл вэб хуудаснаас харах боломжтой.

3.Системийн бүрэлдэхүүн хэсгүүд

1. **Ухаалаг тоолуур**

- Эрчим хүчний хэрэглээг нарийвчлалтай хэмжих төхөөрөмж.
- Интернет эсвэл GSM сүлжээгээр дамжуулан мэдээллийг дамжуулна.

2. **Цахим төлбөрийн платформ**

- Гар утасны апп, вэбсайт эсвэл төлбөрийн терминалаар дамжуулан урьдчилсан төлбөрийг хийдэг.

3. **Хэрэглэгчийн интерфэйс**

- Эрчим хүчний үлдэгдэл, хэрэглээний түүх, төлбөрийн мэдээллийг хэрэглэгчид харах боломжтой интерфэйс.

4. **Үндсэн сервер ба удирдлагын систем**

- Төлбөр, хэрэглээний мэдээллийг боловсруулж хадгалдаг систем.

GSM тоолуур нь Global System for Mobile Communications (GSM) сүлжээг ашиглан мэдээлэл дамжуулдаг ухаалаг тоолуур юм. Энэ төрлийн тоолуур нь алсын зайн хяналт, автомат тооцоо, бодит цагийн хэрэглээний мэдээлэл дамжуулах зэрэг олон давуу талтай.

GSM тоолуурын онцлог:

❖ Алсын зайн хяналт, удирдлага – Гар утасны сүлжээгээр дамжуулан хэрэглээний мэдээлэл авах, хянах боломжтой.

❖ Нарийвчлал сайтай – Энгийн механик болон электрон тоолуураас илүү нарийвчлалтай.

❖ Өгөгдөл хадгалах, дамжуулах – Цахилгаан түгээх компанийн серверт хэрэглэгчийн мэдээллийг тогтмол илгээдэг.

❖ Алсаас уншилт хийх – Тоолуурыг газар дээрээс нь унших шаардлагагүй.

❖ Эрчим хүчний зардал бууруулах боломжтой – Хэрэглэгч өөрийн хэрэглээг хянаж, зохицуулж чаддаг.

GSM тоолуур нь AMR (Automatic Meter Reading) болон AMI (Advanced Metering Infrastructure) системтэй ажиллах боломжтой.

GSM ТООЛУУРЫН AMR, AMI-ТЭЙ НИЙЦЭХ БАЙДАЛ

2-Р ХҮСНЭГТ

Үзүүлэлт	AMR (Automatic Meter Reading)	AMR (Automatic Meter Reading)
Холбоо	Нэг чиглэлтэй	Хоёр чиглэлтэй
Өгөгдөл дамжуулах	Тогтмол хугацаанд унших	Бодит цагийн мэдээлэл авах, илгээх
Таслалт, холболт	Алсаас таслах боломжгүй	Алсаас таслах, холбох боломжтой
Тариф удирдах	Боломжгүй	Тарифыг алсаас тохируулах боломжтой
Хэрэглээний хяналт	Хэрэглээний мэдээллийг төв рүү илгээдэг	Хэрэглээг удирдаж, шинжилгээ хийх боломжтой
Хэрэглэгчийн оролцоо	Бага	Өндөр

AMI системтэй тоолуур үйлдвэрлэдэг дэлхийд танигдсан хэд хэдэн компани байдаг. Эдгээр компаниуд нь ухаалаг тоолуур болон холбогдох програм хангамж,сүлжээний шийдлүүдийг санал болгодог.

Тэргүүлэгч үйлдвэрлэгч компаниуд:

1. Itron(АНУ)

- Эрчим хүч,ус,хийний ухаалаг тоолуур үйлдвэрлэдэг
- AMI болон сүлжээний ухаалаг шийдлүүдийг хөгжүүлдэг
- Edge computing болон IoT технологийг ашигладаг

2. Landis+Gyr (Швейцарь)

- Цахилгаан, ус, хийн ухаалаг тоолуур үйлдвэрлэдэг.
- Gridstream AMI платформоор дамжуулан эрчим хүчний ухаалаг сүлжээний шийдэл нийлүүлдэг.
- Дэлхий даяар өргөн хэрэглэгддэг.

3. Siemens (Герман)

- Эрчим хүчний ухаалаг сүлжээ, хяналтын системд зориулагдсан тоолуур үйлдвэрлэдэг.
- AMI, AMR, SCADA зэрэг ухаалаг системүүдийг санал болгодог.
- Цахилгаан түгээх сүлжээнд AI болон дата аналитик ашигладаг.

4. Honeywell (АНУ)

- Ухаалаг эрчим хүчний шийдэл, тоолуур, сүлжээний менежментээр мэргэшсэн.
- Нарийвчилсан хэмжилт, алсын зайнаас хяналтын системүүдийг хөгжүүлдэг.

5. Schneider Electric (Франц)

- Ухаалаг эрчим хүчний хяналтын систем, тоолуур үйлдвэрлэдэг.
- EcoStruxure платформоор дамжуулан ухаалаг сүлжээний удирдлага хийдэг.

6. Kamstrup (Дани)

- Ус, дулааны ухаалаг тоолуур үйлдвэрлэдэг.
- Алсын зайнаас хяналт, дата менежментийн шийдлүүд санал болгодог.

7. Sensus (АНУ)

- Ус, хий, цахилгааны ухаалаг тоолуур үйлдвэрлэдэг.
- FlexNet сүлжээ ашиглан мэдээллийг найдвартай дамжуулдаг.

8. Elster (Honeywell-ийн салбар, Герман)

- Цахилгаан, хий, усны ухаалаг тоолуур үйлдвэрлэдэг.
- AMI болон SCADA шийдлүүд санал болгодог.

9. Holley Technology (Хятад)

- Өндөр нарийвчлалтай ухаалаг тоолуур үйлдвэрлэдэг.
- Дэлхийн олон орны эрчим хүчний компаниудтай хамтран ажилладаг.

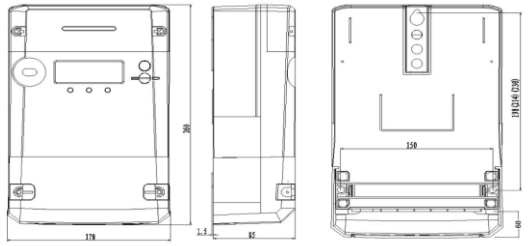
10. Hexing Electrical (Хятад)

- Ухаалаг эрчим хүчний сүлжээ, тоолуур, хяналтын систем хөгжүүлдэг.
- AMI болон AMR системийг өргөнөөр санал болгодог.

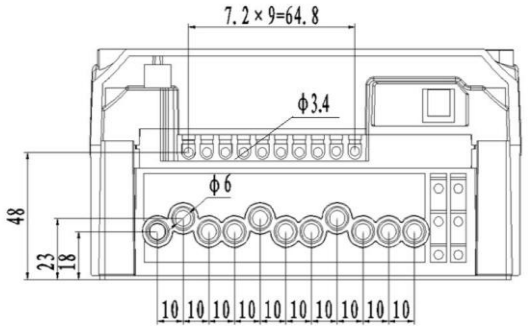
Эдгээр компаниуд AMI системийн хөгжүүлэлт, дата менежмент, IoT шийдлүүдэд анхаарч, улам бүр сайжруулж байна. Хэрэглэгчдийн хэрэгцээ, бүс нутгийн шаардлагаас хамааран тухайн үйлдвэрлэгчийн бүтээгдэхүүнийг сонгон ашиглах боломжтой.

GSM ухаалаг тоолуур нь цахилгаан түгээх компаниудад илүү үр дүнтэй хяналт, төлбөрийн сахилга бат, цахилгаан хэмнэх боломж олгодог.

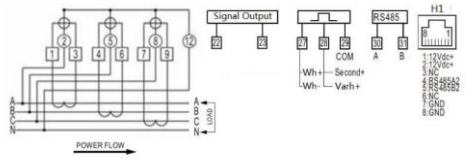
1-р зураг. Holley Technology (Хятад) компанийн ухаалаг тоолуур



2-р зураг. Урдаас,хажуунаас,ар талаас харагдах хэмжээс



3-р зураг. Терминал хэмжээсийн диаграм (терминал доод диаграм)



4-р зураг Нарийвчилсан холболтын диаграм

УРЬДЧИЛСАН ТӨЛБӨРТ УХААЛАГ СИСТЕМИЙН ДАВУУ ТАЛ

3-Р ХҮСНЭГТ

Давуу тал	Хэрэглэгчид	Эрчим хүчний компаниуд
Санхүүгийн хяналт	Хэрэглэгч зардлаа хянах боломжтой	Өрийн дарамтыг бууруулна
Автоматжуулалт	Хялбар хэрэглээ, төлбөрийн систем	Хэмжилт,тооцооллыг автоматжуулна
Эрчим хүчний хэмнэлт	Зохистой хэрэглээг дэмжинэ	Эрчим хүчний алдагдлыг багасгана

IV. МОНГОЛ УЛСАД ХЭРЭГЖҮҮЛЭХ БОЛОМЖ

Монгол Улсад урьдчилсан төлбөрт системийг хэрэгжүүлэхэд дараах боломжууд байна:

- **Хэрэглээний хяналтыг сайжруулах** – Айл өрх, аж ахуйн нэгжүүд хэрэглээгээ урьдчилан төлөвлөх боломжтой.
- **Эрчим хүчний зүй зохистой хэрэглээг дэмжих** – Илүү их хэрэглээтэй хэрэглэгчид үр ашгаа тооцох боломжтой.
- **Системийн санхүүгийн үр ашгийг нэмэгдүүлэх** – Эрчим хүчний компаниудын өрийн дарамт буурах боломжтой.

Хэрэглэгчдэд тулгарах асуудлууд болон шийдлүүд:

1. Техник технологиос хол иргэд өндөр настан, хөгжлийн бэрхшээлтэй иргэдийн хувьд ухаалаг эрчим хүчний системд оролцох нь тодорхой саад бэрхшээлтэй энэ асуудлыг хэрхэн шийдвэрлэх вэ?

Шийдэл: Ухаалаг карт нь эрчим хүчний төлбөрийг хялбар,аюулгүй төлөх,хэрэглээг хянах, системийг удирдах гэх мэт үйл ажиллагааг илүү хүртээмжтэй болгож,улам хялбаршуулж өгнө.

2. Харааны бэрхшээлтэй иргэдэд урьдчилсан төлбөрт ухаалаг эрчим хүчний системийг хэрхэн хүртээмжтэй болгох вэ?

Шийдэл: Гар утас дуудлага хийх замаар эрчим хүчний хэрэглээ болон төлбөрийн мэдээлэл авах боломжтой.

Тусламжийн үйлчилгээ болон хөнгөлөлт:Өндөр настан,хөгжлийн бэрхшээлтэй иргэдийн эрчим хүчний төлбөрт хөнгөлөлт үзүүлэх зорилгоор төрөөс тусгайлан дэмжлэг олгох.Жишээ нь сар бүр дунджаар 50000 төгрөгийн хөнгөлөлт үзүүлэх. Ингэснээр эрчим хүчний үйлчилгээ авч буй өндөр настан болон

хөгжлийн бэрхшээлтэй иргэдэд өндөр тус дэм болох юм.

5-р зураг. Ухаалаг картын систем(Өндөр настан болон хөгжлийн бэрхшээлтэй иргэдийн хялбар хэрэглээ)

ДҮГНЭЛТ

Урьдчилсан төлбөрт ухаалаг эрчим хүчний систем нь эрчим хүчний хэрэглээг хянах,үр ашигтай удирдах,зардлыг бууруулах шинэ шийдэл юм.Энэхүү систем нь хэрэглэгчдэд цахилгаан хэрэглээгээ хянах,төлбөрөө уян хатан байдлаар төлөх,илүү хэмнэлттэй зарцуулах боломжийг олгодог.

Ухаалаг тоолуур болон автоматжуулсан удирдлагын тусламжтайгаар эрчим хүчний хангамж илүү найдвартай болж,эрчим хүчний байгууллагуудын үйл ажиллагааны зардал буурдаг. Мөн цахилгаан түгээх компаниудын хувьд төлбөрийн авлагын хэмжээ багасаж, хэрэглэгчийн үйлчилгээ сайжирна.

Цаашид энэхүү системийг өргөжүүлэн нэвтрүүлснээр эрчим хүчний хэрэглээний хэмнэлт,байгаль орчинд үзүүлэх эерэг нөлөө нэмэгдэж,эрчим хүчний салбарын хөгжлийг шинэ түвшинд гаргах боломжтой юм.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] Holley Technology (2020). DTSD545CT User Manual.

[2] French Meters Energy (2023). Class 1.0 Smart Prepaid Energy Meter.

[3] Монгол Улсын Эрчим Хүчний Яам (2023). Эрчим хүчний хангамжийн төлөвлөгөө.

[4] Kumar,A.,& Choudhury,N.(2021).”Prepaid Smart Metering System of Efficient Energy Management.” IEEE Access, 9,20345-20358

[5] Longe, O.M., et al,(2017).”Implementation of a GSM-based Prepaid Energy Meter with Embedded Overload Protection.” IEEE Transactions on Smart Grid, 8(5),2323-2333\

[6] Ahmed, M.M.,& Haque, M.E.(2019). “Prepaid Energy Meter with GSM Technology for Load Control and Energy Management.” International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), 9(2), 453-460

БАКАЛАВР ОЮУТНУУДЫН ИЛТГЭЛҮҮД

420 МВТ ЧАДАЛТАЙ ЦӨМИЙН ЦАХИЛГААН СТАНЦЫГ АШИГЛАН УСТӨРӨГЧ ҮЙЛДВЭРЛЭХ СУДАЛГАА

Ч.Хонгор[1], Ш. Энхбаяр[1,2*]

[1]Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Дулааны инженерийн салбар

[2]Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Дулааны техник, үйлдвэрлэлийн экологийн хүрээлэн

Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: enkhbayar.sh@must.edu.mn

***Хураангуй*: Дэлхий даяар эрчим хүчний хэрэглээ нэмэгдэж, хүлэмжийн хийн ялгарал, уур амьсгалын өөрчлөлт, агаарын бохирдол зэрэг асуудлууд тулгамдсан сорилт болж байна. Тиймээс улс орнууд нүүрсхүчлийн хийн ялгаруулалт багатай, үр ашиг өндөртэй эрчим хүчний эх үүсвэрүүдийг эрэлхийлж, устөрөгчийн эдийн засагт шилжихийг зорьж байна. Монгол Улсын хувьд эрчим хүчний тогтвортой байдлыг хангах, нүүрсний хэт хамаарлыг бууруулах, цэвэр эрчим хүчний технологийг нэвтрүүлэх шаардлагатай байна. Энэхүү судалгааны ажлаар HTR-PM (High Temperature Gas-cooled Reactor - Pebble-bed Module) цөмийн реактортай 420 МВт-ын чадалтай цөмийн цахилгаан станц (ЦЦС)-ыг ашиглан устөрөгч (H_2) үйлдвэрлэх боломжийг судалсан. Энэхүү судалгаанд Ebsilon Professional программ хангамжийг ашиглан ЦЦС-ын термодинамик загварыг боловсруулж, ажиллагааны гүйцэтгэл болон техник-эдийн засгийн үзүүлэлтүүдийг тооцоолов. Мөн шөнийн бага ачааллын үед 420 МВт-ын ЦЦС-ын үйлдвэрлэх цахилгаан ачааллын 50%-аар шүлтлэг усны электролизийн аргыг ашиглан устөрөгч үйлдвэрлэх боломжийг судлав. Судалгааны үр дүнд ЦЦС-ын ашигт үйлийн коэффициент (АҮК) 42.5%, устөрөгч үйлдвэрлэх цахилгаан энергийн интеграцийн АҮК 71%, үйлдвэрлэсэн устөрөгчийн өөрийн өртөг 1.11 ам.доллар/кг тус тус гарсан байна. Судалгааны үр дүнгээс харахад HTR-PM реактортай 420 МВт ЦЦС нь устөрөгчийн тогтвортой үйлдвэрлэлд өндөр үр ашигтайгаар ашиглагдах боломжтой бөгөөд Монгол Улсын эрчим хүчний салбарт цэвэр устөрөгч үйлдвэрлэх технологийг хөгжүүлэх үндэс суурь болж чадна.**

Түлхүүр үг: *Цөмийн эрчим хүч; устөрөгч үйлдвэрлэл; HTR-PM цөмийн реактор; Ebsilon professional загвар; шүлтлэг усны электролизийн арга.*

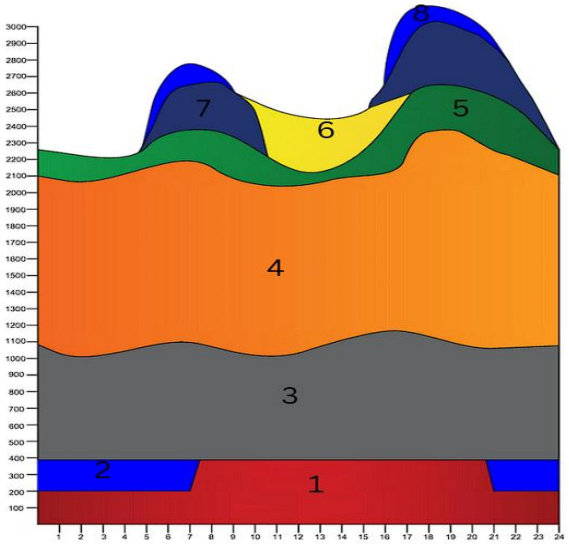
I. УДИРТГАЛ

Дэлхий дахинд эрчим хүч үйлдвэрлэхэд устөрөгчийг ашиглах боломж, сорилт, эдийн засгийн бодит байдлыг ойлгох сонирхол нэмэгдэж байна. BloombergNEF-ийн 2020.03-р сарын устөрөгчийн хэтийн төлөвийн тайланд дурдсанаар 2020 онд жил бүр 70 сая тонн устөрөгчийн олборлолт хийх төлөвтэй ба 2050 он гэхэд 1.3 тэрбум тонн болж, 30 жилийн дотор 18 дахин өснө гэж тооцоолжээ. Устөрөгчийг байгалийн хий эсвэл нар, салхи, усан цахилгаан станц гэх мэт сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсвэрээс гаргаж авч болно. Эдгээр аргууд нь их хэмжээний ус шаарддаг. Электролизийн гол дүрэм бол есөн килограмм уснаас нэг килограмм устөрөгч (9:1) гаргах юм [1].

Монгол улсын хувьд ихэнх цахилгаан станцууд нь нүүрсээр ажилладаг тул их хэмжээний CO_2 болон бусад хорт хийг ялгаруулдаг. Мөн сэргээгдэх эрчим хүч нь нэгж (1 кВт·ц) цахилгаан эрчим хүчийг өндөр өртгөөр үйлдвэрлэдэг тул устөрөгчийн өөрийн өртгийг нэмэгдүүлдэг сөрөг талтай [2]. Иймд устөрөгч үйлдвэрлэхэд хамгийн тохиромжтой эрчим хүчний эх үүсвэрийг эрэлхийлэх нь чухал.

Цөмийн цахилгаан станц нь маш бага хэмжээний CO_2 ялгаруулдаг ба нэгж цахилгаан эрчим хүчийг хамгийн хямд өртгөөр үйлдвэрлэдэг давуу талтай. Олон улсын судалгаагаар ЦЦС нь 1 МВт·ц цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэхэд уламжлалт нүүрсээр ажилдаг ДЦС-тай харьцуулахад CO_2 ялгаруулалт ойролцоогоор 50–100 дахин бага байдаг [3]. HTR-PM реактортай 420 МВт-ын ЦЦС-ын хувьд жилд 2695.14 сая.кВт·ц цахилгаан эрчим хүч түгээж, 2.39 сая тонн CO_2 ялгарахаас сэргийлэх боломжтойг харуулж байна.

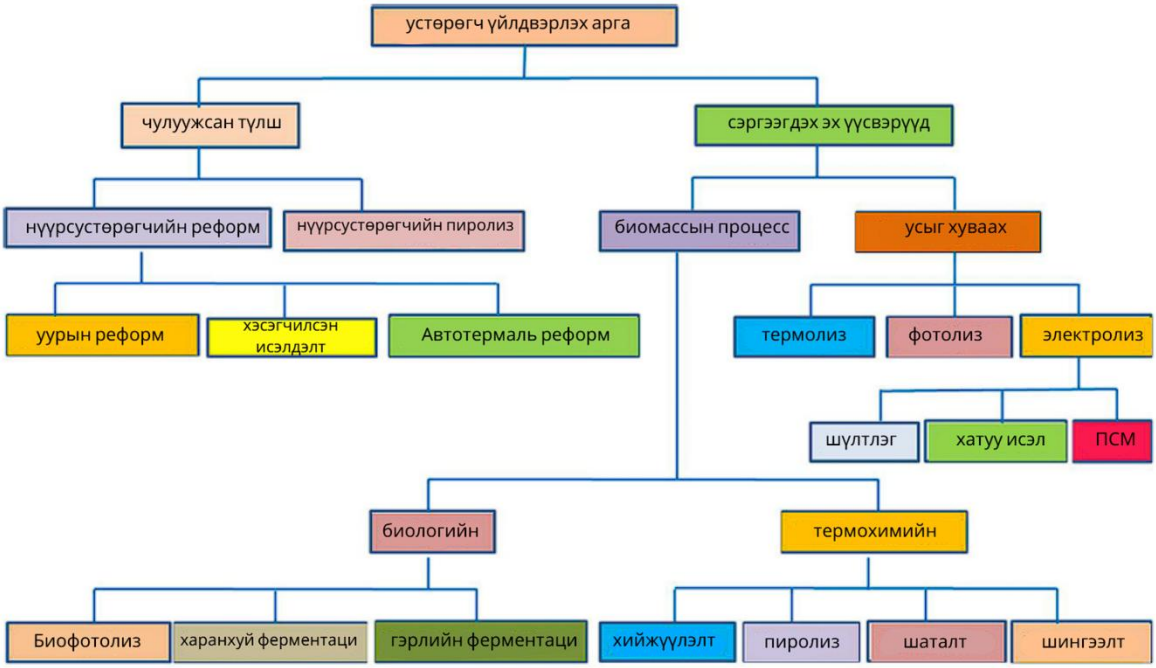
Түүнчлэн ЦЦС нь реакторын цөмийн физикийн процесстой холбоотой учраас цахилгаан ачааллаас хамааруулж реакторыг зогсоохыг зөвшөөрдөггүй. Тиймээс ачааллын тохируулгын хүрээ багатайг нь харгалзаж, ЦЦС-ыг эрчим хүчний системийн ачааллын графикийн суурь горимд тогтмол чадлаар ажиллуулдаг. 2030 он гэхэд Монгол улсын төвийн бүсийн эрчим хүчний системийн цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээ 3000 МВт хүрэх төлөвтэй байна [4]. Зураг 1-т 2030 оны цахилгаан эрчим хүчний хоногийн ачааллын графикаар устөрөгчийн үйлдвэрлэл 10 орчим цаг байх боломжтойг үзүүлэв.



1-р зураг. 1. HTR-PM реактортай ЦЦС, 2. Устөрөгчийн үйлдвэрлэл, 3. одоо байгаа ДЦС+өрөөтгөл, 4. (Бөөрөлжүүт, Тавантолгой, Баян) КЦС,5. СЦС, 6. НЦС, 7. УЦС+батарей хуримтлуурын станц, , 8. Устөрөгчийн хийн турбинт цахилгаан станц

2030 оны цахилгаан эрчим хүчний хоногийн ачааллын графикт 420 МВт ЦЦС болон түүнийг ашигласан устөрөгчийн үйлдвэрлэл хэрхэн оролцохыг харуулав. Дээр дурдсанчлан ЦЦС-ыг ачааллаас хамааруулж олон дахин маневрлах (ачаалал нэмэх/хасах) боломжгүй байдаг. Иймд эрчим хүчний хэрэглээ бага шөнийн цагт ЦЦС-ын үйлдвэрлэсэн цахилгаан эрчим хүчийг ашиглан шүлтлэг усны электролизийн аргаар устөрөгч үйлдвэрлэж, улмаар үйлдвэрлэсэн устөрөгчөө ашиглан оргил ачааллын хаах, HTR-PM цөмийн реакторын найдвартай, тогтвортой ажиллагааг хангах боломжтой.

Устөрөгчийг гарган авах маш олон арга байдаг бөгөөд 2-р зурагт устөрөгч үйлдвэрлэх аргуудыг харуулав.



2-р зураг. Устөрөгч үйлдвэрлэх аргууд

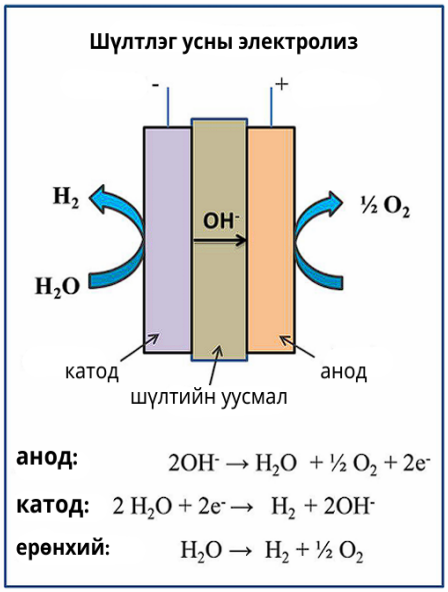
Устөрөгч гарган авах олон арга байгаа боловч дэлхий дахинд сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсвэр ашиглан устөрөгч үйлдвэрлэх аргыг илүү нарийн судалж байна. Усыг задлах процесс нь цэвэр устөрөгч (99.999% H_2) үйлдвэрлэх хямд, хамгийн өргөн дэлгэрсэн арга юм. Дараах томьёогоор усны задралын үндсэн тэгшитгэлийг тодорхойлов.

H_2O + Цахилгаан энерги (237.2 кЖ/моль) → H_2 (48.6 кЖ/моль) + ½O_2 (1)

Энэ процессын үед 1 молекул усыг задлахад 237.2 кЖ эрчим хүч шаардлагатай гэдгийг илэрхийлдэг. Энэ нь усны молекулыг устөрөгч (H_2) болон хүчилтөрөгч (O_2) болгон задалж гаргах энергийн хэмжээ юм. Усыг задлахад 48.6 кЖ илүүдэл дулааны энергийг ялгаруулдаг. Энэ дулааны энерги нь процессыг халаахад зарцуулагддаг байна.

Усыг задлах электролиз нь дотроо шүлтлэг усны электролиз, протон солилцооны мембран болон хатуу ислийн электролиз гэсэн 3 арга байдаг [5].

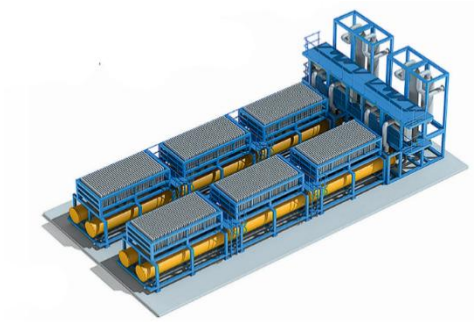
Шүлтлэг усны электролиз нь 80-90°C температуртай, 20%-30% хүртэлх концентрацитай KOH эсвэл NaOH уусмал ашигладаг хямд, батлагдсан электролизийн арга юм. Үйлдвэрлэлийн зориулалтаар их хэмжээний устөрөгч үйлдвэрлэхэд ашиглагддаг боловсронгуй технологи юм [6]. 3-р зурагт шүлтлэг усны электролизийн процессыг харуулав.



3-р зураг. Шүлтлэг усны электролиз

Шүлтлэг усны электролизийг ашиглан их хэмжээний устөрөгч үйлдвэрлэх боломжтойг Герман улсын “Thyssenkrupp Nucera” компани харуулсан ба тус компанийн зохион бүтээсэн 20 МВт чадалтай устөрөгч үйлдвэрлэх блокийг [6] 4-р зурагт харуулав. Уг блокийг тээвэрлэх болон угсрахад

хялбар бөгөөд олон тоогоор үйлдвэрлэлд ашиглах боломжтой.

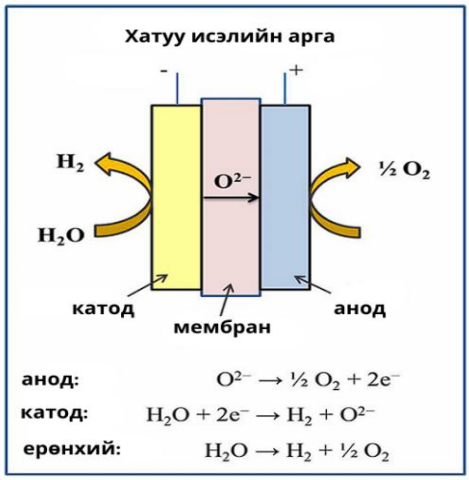


а.

б.

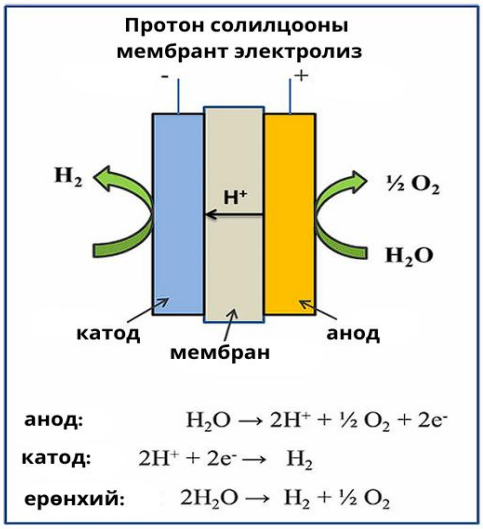
4-р зураг. Шүлтлэг усны электролизийн 20 МВт блок

Хатуу ислийн электролиз нь шинэлэг санаа бөгөөд 600-аас 900°С хүртэл температуртай ус эсвэл уурыг бага цахилгаан эрчим хүчний тусламжтайгаар үр дүнтэй электролиз хийх боломжийг олгодог технологи юм. Шүлтлэг усны электролизийн аргаас илүү үр ашигтай ба 90% хүртэл электролизийн процесс явуулдгаараа давуу талтай. Хэдийгээр өндөр үр ашигтай боловч өндөр температурыг тэсвэрлэх материалын нөхцөлөөс хамаарч үйлдвэрлэлд хараахан нэвтрээгүй байна [7]. 5-р зурагт хатуу ислийн элетролизийн процессыг үзүүлэв.



5-р зураг Хатуу ислийн электролиз

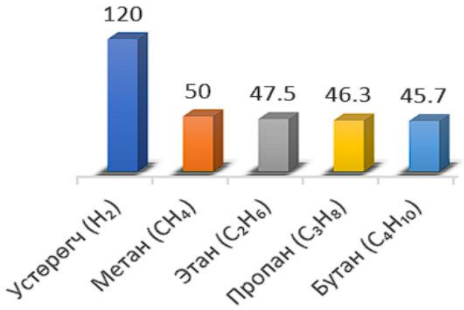
Анхны протон солилцооны мембрант (ПСМ) электролизийг 50-аад оны эхээр Грубб оновчтой болгосон ба General Electric компани шүлтлэг усны электролизийн сул талыг арилгахын тулд 1966 онд бүтээсэн ба шүлтлэг усны электролизээс илүү давуу талтай юм. ПСМ электролизийн технологи нь хатуу полисульфонжуулсан мембраныг электролит (протон дамжуулагч) болгон ашигладаг, хийн нэвчилт бага, протоны өндөр дамжуулалт (0.1±0.02 S/см^2), бага зузаан (Σ20–300 мкм), өндөр даралтын ажиллагаа зэрэг олон давуу талтай. Шүлтлэг усны электролизийг орлох авсаархан дизайн, өндөр гүйдлийн нягтрал (2 А/см^2-ээс дээш), өндөр үр ашигтай, хурдан хариу үйлдэл үзүүлэх, бага зай эзэлдэг, бага температурт (20-80°С) ажилладаг ирээдүйтэй технологи юм. ПСМ электролиз нь үнэт металлыг катод, анод болон электрокатализатор болгон ашигладаг. Тиймээс ПСМ электролизийн гол сорилтуудын нэг бол үйлдвэрлэлийн өртгийг бууруулах явдал юм [5]. 6-р зурагт ПСМ элетролизийн процессыг харуулав.



6-р зураг. ПСМ электролиз

Усыг задлах дээрх 3-н аргаас шүлтлэг усны элетролиз нь одоогийн технологид нийцсэн цор ганц арга юм. Иймд HTR-PM цөмийн реактортай ЦЦС-д шүлтлэг усны элетролизийн блокийг суурилуулан устөрөгч үйлдвэрлэж ЦЦС-ын маневрлах чадварыг дээшлүүлэх боломжтой байна.

Устөрөгч бол хүн төрөлхтний ирээдүйн эрчим хүч бөгөөд түүний дулаан гаргах чадвар 120 МЖ/кг байдаг [8]. 7-р зурагт шатамхай хийнүүдийн дулаан гаргах доод чадварыг харуулав.



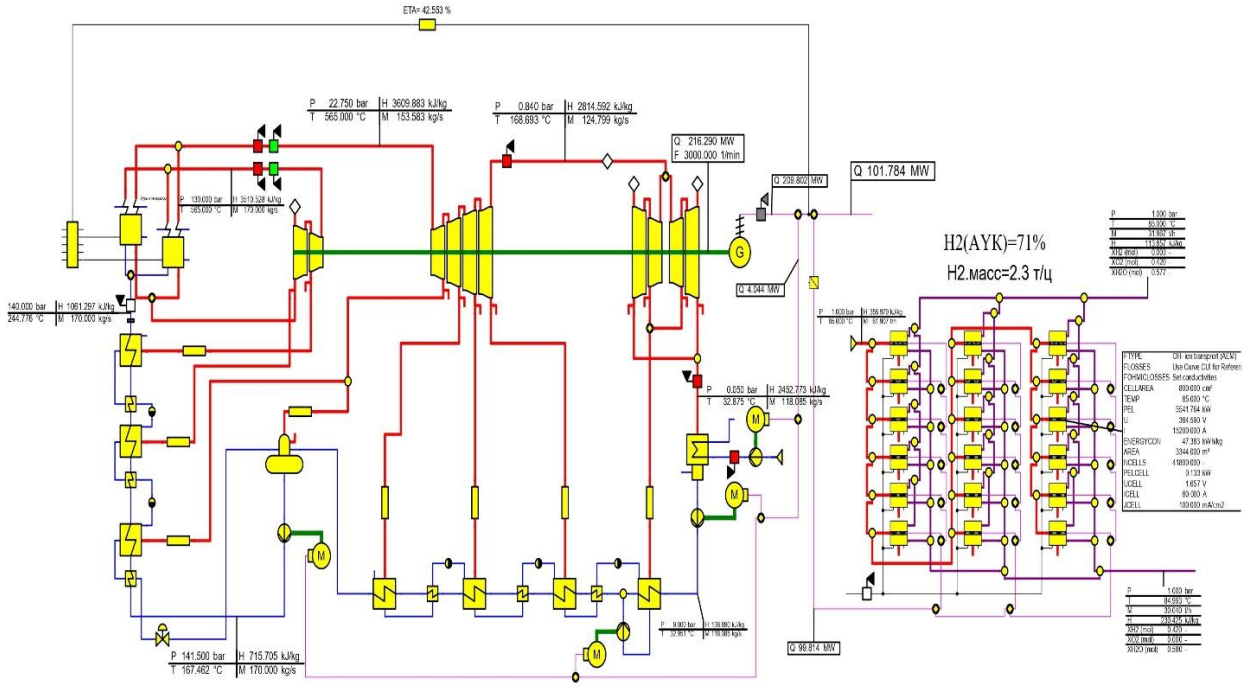
7-р зураг Дулаан гаргах доод чадвар (илчлэг) , МЖ/кг

Устөрөгч нь дулаан гаргах чадварын хувьд бусад хийн түлштэй харьцуулахад өндөр, жишээлбэл метан хийнээс 2.4 дахин өндөр байна. Мөн устөрөгч шатахад зөвхөн ус (H_2O) үүсдэг тул нүүрстөрөгчийн давхар исэл (CO_2), хөө тортог болон бусад хорт хий ялгардаггүй. Мөн энергийн нягт өндөр тул агаарын болон сансрын тээвэрт онцгой ач холбогдолтой [11]. Иймд устөрөгч бол өндөр энергийн багтаамжтай, цэвэр шаталттай, ирээдүйд ногоон эрчим хүчний гол түлш болох боломжтой хэмээн дэлхийн улс орнууд үзэж байна [13].

II. СИСТЕМИЙН ТАЙЛБАР

420 МВт цахилгаан чадалтай ЦЦС нь 4-н (4х250 МВт дулааны чадалтай) HTR-PM төрлийн цөмийн реактортай, 2хК-210-130 маркийн уурын турбинтай 2 дубль блок байхаар төлөвлөсөн. 210 МВт чадалтай 1-р блок болон устөрөгчийн үйлдвэрлэх системийн термодинамик загварыг 8-р зурагт үзүүлэв. 210 МВт чадалтай 1-р блокийн уурын турбины хэсгийн тэжээлийн ус халаах систем нь 3 өндөр даралтын халаагуур (ӨДХ), 1 деаэратор, 4 нам даралтын халаагуур (НДХ)-аас тус тус бүрдэнэ. Устөрөгч үйлдвэрлэх систем нь нийт 18 блокоос бүрдэх ба нэг блок нь 190 ялтастай (stacks). Ялтас тус бүр 800 см^2 талбайтай, 220 ш электролизийн эсээс (cell) бүрдэнэ.

Уурын турбин нь цагт 565°C температуртай, 130 ата даралттай 612 т/ц зарцуулалттай хэт халсан уурыг ашиглан 210 МВт цахилгаан чадал үйлдвэрлэнэ. Үүнээс дотоод хэрэгцээнд 4 МВт, давтамж хувьсгуурын тусламжтайгаар 100 МВт цахилгаан энергийг электролизийн блокуудад хуваарилна.



8-р зураг. ЦЦС болон Шүлтлэг усны электролиз түүний Ebsilon professional загвар

420 МВт-ын ЦЦС нь 210 МВт-ын чадалтай 2 эрчим хүчний блокоос бүрдэнэ. Эрчим хүчний блок бүрд 250 МВт дулааны чадалтай хоёр HTR-PM цөмийн реактор суурилагдана. ЦЦС-ын 210 МВт-ын чадалтай эрчим хүчний блокийн термодинамикийн загварыг үйлдвэрлэгчийн техникийн үзүүлэлт-түүдийн дагуу Ebsilon professional программ хангамж ашиглан дизайны горимд боловсруулж, баталгаажуулсан.

Сүүлийн жилүүдэд усыг задалж устөрөгч үйлдвэрлэх онолын болон R&D судалгаанууд эрчимтэй хийгдэж байна. Жишээлбэл эрчим хүчний блокуудын маневрлах чадварыг нэмэгдүүлэх, хэрэглэгчийн цахилгаан ачааллаас хамааруулж устөрөгч үйлдвэрлэх боломж [8,9,10,12], шүлтлэг усны элекролизын үр ашиг, цахилгаан эрчим хүчний зарцуулалт, устөрөгчийн гарц зэргийг судалсан [5,6,7,11,13,14] байна.

Бидний боловсруулсан Ebsilon professional дээрх загварын үр дүнг бусад судалгааны үр дүнгүүдтэй харьцуулахад алдааны хувь бага байгаа нь загвар үнэн, цаашид судалгаанд ашиглаж болно гэж үзсэн.

EBSILON PROFESSIONAL ДЭЭРХ ЗАГВАР БОЛОН БУСАД СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮНГИЙН ХАРЬЦУУЛАЛТ

1-Р ХҮСНЭГТ.

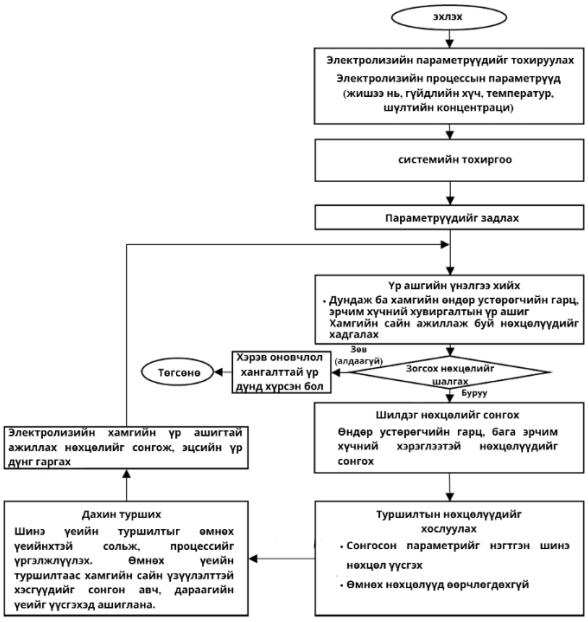
Үзүүлэлт	Нэгж	Бусад судалгаа	Ebsilon professional загвар	Харьцаанд үй алдаа, %
Шүлтлэг усны электролизийн үр ашиг	%	70	70.8	1
Эрчим хүчний зарцуулалт	кВт.ц/кг	47	47.4	0.85
Гүйдлийн нягт	А/см^2	100	100	0
Эсийн хүчдэл	В	1.65	1.657	0.43

III. СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

Шүлтлэг усны электролизийн үр ашиг, техник-эдийн засгийн үзүүлэлтүүдийг Ebsilon professional программ ашиглан тооцоолсон [15].

Мөн натрийн гидроксид (NaOH), сахлын хутга зэрэг энгийн материалуудыг ашиглан шүлтлэг усны электролизийн аргаар устөрөгч үйлдвэрлэх боломжийг туршилтаар хийж гүйцэтгэв.

9-р зурагт 100 МВт шүлтлэг усны электролизийн процессын термодинамикийн загварыг Ebsilon professional программ хангамж ашиглан боловсруулах логик схемийг үзүүлэв.



9-р зураг. 100 МВт шүлтлэг усны электролизийн процессын схемийг загварчлах хялбаршуулсан схем

Ebsilon professional программ хангамжийн алгоритмууд нь физик тэгшитгэл, олон гишүүнт болон шинж чанарын муруй дээр суурилдаг. Энэхүү судалгаанд тоон загварчлал, техник-эдийн засаг ба системийн шинжилгээ зэрэг аргуудыг ашигласан ба загварт ашиглагдсан зарим тэгшитгэл, томьёонуудыг дараах байдлаар өгөв [5,10,11,13,16, 17, 18].

Шүлтлэг усны электролизийн АҮК, %.

$$\eta_{LHV} = \frac{\dot{m}_{H_2} \cdot LHV_{H_2}}{Q_{ор.ус} + P_{си}}\ ; \qquad (1)$$

1 кг устөрөгч (H_2) үйлдвэрлэхэд шаардагдах цахилгаан эрчим хүч, кВт.ц/кг.

$$E_{con} = \frac{LHV_{H_2}}{\eta_{LHV}}; \qquad (2)$$

Энд: $\dot{m}_{H2}$ – устөрөгчийн массын зарцуулалт (кг/с); LHV_{H2} –устөрөгчийн доод дулаан гаргах чадвар, (кЖ/кг); $Q_{ор.ус}$ –электролиз руу орж байгаа усны дулаан, (кВт); $P_{си}$ – электролизийн нийт системийн цахилгаан чадал (кВт).

Устөрөгчийн массын фракц:

$$Y_{H_2} = \frac{(X_{H_2} \cdot M_{H_2})}{(X_{H_2} \cdot M_{H_2}) + (X_{H_2O} \cdot M_{H_2O})}; \qquad (3)$$

Энд: X_{H2}, X_{H2O} –устөрөгч болон усны молийн фракц; M_{H2}, M_{H2O} – устөрөгч болон усны молекул масс, (г/моль).

Устөрөгчийн массын зарцуулалт, кг/с.

$$\dot{m} = Y_{H_2} \cdot m_{н}; \qquad (4)$$

Энд: $m_{н}$ –нийт массын зарцуулалт, (кг/с).

Электролизийн эсийн хүчдэлийг стандарт нөхцөлд дараах байдлаар тодорхойлж болно, (В).

$$U_{rev} = \frac{\Delta G}{n \cdot F} = 1.23 \qquad (5)$$

Энд: ΔG – Гиббсийн чөлөөт энергийн өөрчлөлт, (Ж/моль); n –электрон дамжуулалтын тоо (устөрөгчийн хувьд n=2); F – Фарадейн тогтмол (96485 Кл/моль).

Эсийн хүчдэлийг омын хуулиар тооцоолно, (В).

$$U_{cell} = U_{rev} + \eta_{act} + \eta_{conc} + \eta_{res}; \qquad (6)$$

Энд; η_{act} – Анод, катод дээрх идэвхжилийн энерги; η_{conc} – концентрацийн алдагдал; η_{res} –омын эсэргүүцлийн алдагдал.

Шүлтлэг усны электролизийн термодинамикийн АҮК, %:

$$\eta_{термо} = \frac{1.23}{U_{cell}}; \qquad (7)$$

Электролизийн явцад ашигтай урвалд зарцуулагдсан цахилгаан гүйдлийн АҮК:

$$\eta_{Фарадейн} = \frac{n \cdot F \cdot Q_{H_2}}{I \cdot t}\ ; \qquad (8)$$

Энд; Q_{H2} – Үйлдвэрлэгдсэн устөрөгчийн хэмжээ, (моль).

Шингэн уснаас гарч буй устөрөгчийн хийн эзлэхүүн, ($м^3$).

$$V_{H_2} = \frac{n \cdot R \cdot T}{P}; \qquad (9)$$

Электролизийн цахилгаан эрчим хүчний зардал, (ам.доллар/кг).

$$З_{элек} = E_{con} \times З_{ц}; \qquad (10)$$

Энд; $З_{ц}$ – ЦЦС-ын үйлдвэрлэх нэгж цахилгаан эрчим хүчний өөрийн өртөг, (цент/кВт.ц).

Анхны хөрөнгө оруулалт, (ам.доллар).

$$i_o = N_{ц} \cdot R_H; \qquad (11)$$

Энд; R_H –нэгж хөрөнгө оруулалт, (ам.доллар/кВт).

Жилийн устөрөгчийн үйлдвэрлэл, (кг/ж).

$$\dot{m}_{H_2}^{жил} = \dot{m}_{H_2} \cdot \tau_{схч}; \qquad (12)$$

Энд; $\tau_{схч}$ – суурилагдсан хүчин чадал ашиглах хугацаа, (цаг).

Элэгдлийн зардал, (ам.доллар/кг).

$$З_э = \frac{i_0}{\dot{m}_{H_2}^{жил} \cdot \tau_{ах}}; \quad (13)$$

Энд; $\tau_{ах}$ – ашиглалтын хугацаа, (цаг).

Ашиглалтын зардал, (ам.доллар/кг).

$$З_{аш} = 0.1 \cdot З_э; \quad (14)$$

1 кг устөрөгчийн өөрийн өртөг, (ам.доллар/кг).

$$S_{H2} = З_э + З_{аш} + З_{элек} + З_{ус}; \quad (15)$$

Энд; $З_{ус}$ – 1 кг устөрөгч үйлдвэрлэхэд шаардагдах усны зардал, (ам.доллар/кг).

IV. ҮР ДҮН БА ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

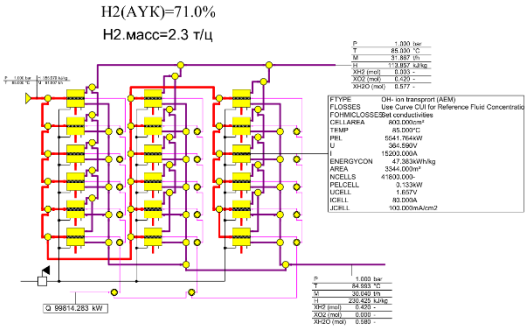
4.1 420 МВТ ЦЦС-ыг ашиглан шүлтлэг усны электролизийн аргаар устөрөгч үйлдвэрлэх загварчлалын судалгаа

420 МВТ ЦЦС болон 100 МВт шүлтлэг усны электролизийн системийн техник-эдийн засгийн зарим үзүүлэлтүүдийг хүснэгт 2-т нэгтгэн үзүүлэв.

2-Р ХҮСНЭГТ.100 МВТ ШҮЛТЛЭГ УСНЫ ЭЛЕКТРОЛИЗИЙН СИСТЕМИЙН ТЕХНИК-ЭДИЙН ЗАСГИЙН ЗАРИМ ҮЗҮҮЛЭЛТҮҮД

№	Тэмдэглэгээ	Нэгж	Утга
1	Эсийн хүчдэл	В	1.657
2	Гүйдлийн нягт	мА/см^2	100
3	1 кг H_2 үйлдвэрлэхэд шаардагдах цахилгаан энергийн хэмжээ	кВт.ц/кг	47.4
4	Эсийн электролиз явуулахад шаардагдах цахилгаан чадал	кВт	0.133
5	Устөрөгчийн массын зарцуулалт	т/ц	2.3
6	Электролизийн нийт системийн усны зарцуулалт	т/ц	61.9
7	1 кВт·ц ЦЭХ-ний өөрийн өртөг	төг/кВт·ц	52.6
8	1 кг устөрөгчийн өөрийн өртөг	төг/ кг	3820
9	ЦЦС-ын жилд зарцуулах баяжуулсан UO_2-ийн хэмжээ	кг/ж	4506
10	Цөмийн түлшний цикл	ж	2.61
11	Уурын турбины уурын хувийн зарцуулалт	кг/кВт·ц	2.34
12	Шүлтлэг усны электролизийн АҮК	%	71
13	Станцын АҮК	%	42.5

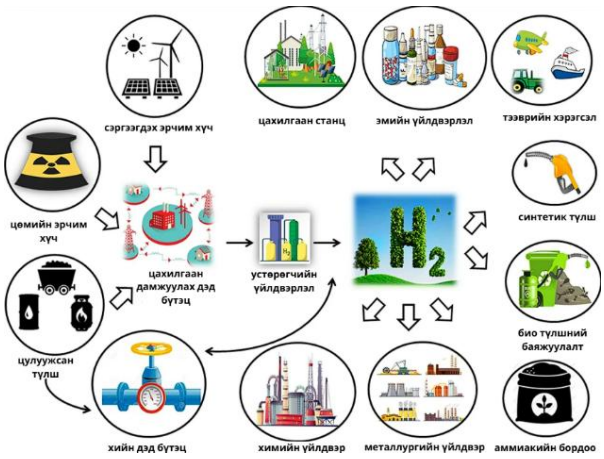
100 МВт-ын шүлтлэг усны электролизийн Ebsilon professional загварын үр дүн



10-р зураг. Шүлтлэг усны электролиз түүний Ebsilon professional загвар

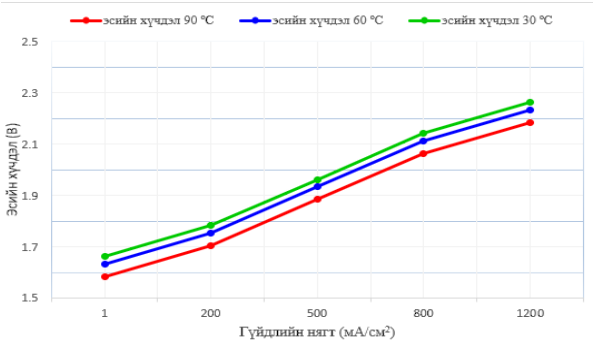
Энэхүү шүлтлэг усны электролизийн Ebsilon professional дээрх термодинамик загварын үр дүнгээс харахад шөнийн бага ачааллын үед 420 МВт-ын ЦЦС-ын үйлдвэрлэсэн цахилгаан эрчим хүчнээс цагт 200 МВт-ыг ашиглан устөрөгч үйлдвэрлэх, улмаар ЦЦС-ын маневрлах чадварыг дээшлүүлэх, шөнийн бага ачааллын үед нэмэлт цахилгаан хэрэглээ бий болгох, үйлдвэрлэсэн устөрөгчийг ашиглан хийн турбины тусламжтай системийн оргил ачааллыг хангах боломжтойг харуулав.

Судалгааны үр дүнд эрчим хүчний блок тус бүр шөнийн бага ачааллын үед 100 МВт-аар 2.3 т/ц зарцуулалттай устөрөгч үйлдвэрлэх боломжтойг батлав. Шөнийн бага ачааллын үргэлжлэх хугацаа 10 цаг гэж үзвэл нийт 46 тонн устөрөгч үйлдвэрлэх юм. Энэхүү үйлдвэрлэсэн устөрөгчийг ашиглан түлшний эсийн хөдөлгүүртэй Toyota Mirai загварын 23000 ширхэг автомашиныг тус бүр 200 км зам туулуулах боломжтой [14]. Мөн түүнчлэн үйлдвэрлэсэн устөрөгчөөр газрын тос, металлурги, химийн үйлдвэрлэл болон оргил ачаалал хаах устөрөгчийн хийн турбинт цахилгаан станц зэрэгт ашиглах бүрэн боломжтой байна [16]. Устөрөгчийн хэрэглээг 11-р зурагт үзүүлэв.



11-р зураг. Устөрөгчийн хэрэглээ

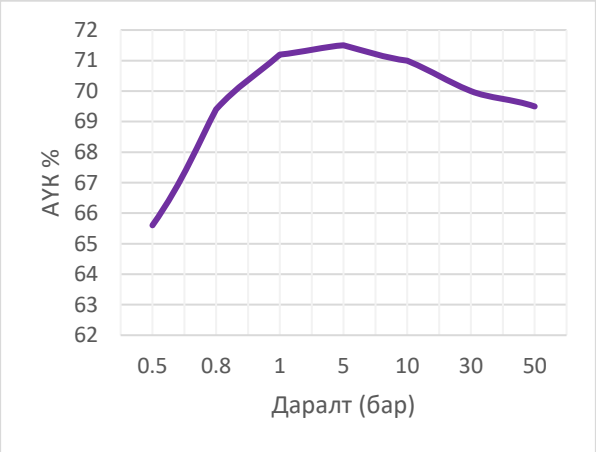
Шүлтлэг усны электролизийн процесс нь түүн рүү орох усны температур болон эсийн гүйдлийн нягтаас ихээхэн хамааралтай байгааг батлав. Мөн энэхүү хамаарал нь Dincer нарын [13] судалгааны үр дүнтэй ижил байгаа нь уг судалгааг бататгаж байна. 12-р зурагт гүйдлийн нягт болон эсийн хүчдэлийн хамаарлыг тухайн температураас хэрхэн хамаарч байгааг үзүүлэв.



12-р зураг. Гүйдлийн нягт ба температурын нөлөө

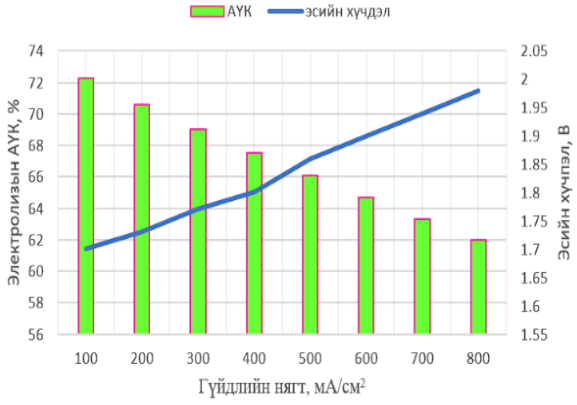
Электролизийн процесс нь температур нэмэгдэхэд хурдсаж, нийт эрчим хүчний зарцуулалт буурах хандлага ажиглагдав. Температур өсөхөд электролит доторх ионуудын хөдөлгөөн түргэсэн, улмаар нийт эсэргүүцлийг бууруулж, гүйдэл илүү хялбар гүйх нөхцөл бүрддэг [13]. Уг температурын хамаарал нь Zeng нарын судалгаатай ижил үр дүн харуулсан байна [17].

13-р зурагт электролизийн процессын АҮК-д процессын даралт хэрхэн нөлөөлж буйг харуулав. Даралт 1 бараас бага үед 65%-69%, 1-10 барын хооронд 71%-ийн тогтвортой, 11-50 барын хооронд АҮК 69.5% болж буурав. Даралтын хэт бага болон их үед эсийн хүчдэл нэмэгдсэнээс шалтгаалж АҮК буурахад нөлөөлж байна.



13-р зураг. Электролизийн процессын АҮК тэжээлийн усны даралтаас хамаарах хамаарал

Электролизийн процессын АҮК-т хамгийн их нөлөөлсөн гол параметр нь эсийн гүйдлийн нягт байсан ба үүнээс шалтгаалж эсийн хүчдэл ихээр хувьсдаг болохыг батлав. Мөн гүйдлийн нягтын бага утгын үед систем бага цахилгаан хэрэглэх ба гүйдлийн нягт нэмэгдэх тусам чадлын хэрэглээ нэмэгдэж байгааг тогтоов. Энэхүү гүйдлийн нягт, эсийн хүчдэл болон үр ашгийн хоорондын хамаарал нь Dobo нарын судалгааны үр дүнтэй ижил гарсан [18]. Зураг 14-т гүйдлийн нягт, эсийн хүчдэл болон АҮК-ийн хоорондын хамаарлыг харуулав.



14-р зураг. АҮК, эсийн хүчдэл гүйдлийн нягтаас хамаарах хамаарал

4.2 Электролизийн аргаар устөрөгч гарган авах туршилтын судалгаа

Электролизийн аргаар устөрөгч гарган авах туршилтын судалгааг гүйцэтгэсэн. Электролит болгож хүнсний содын уусмал ($NaHCO_3$) ашигласан ба электродыг зэвэрдэггүй ган болох сахлын хутга ашигласан. 15-р зурагт устөрөгч гарган авсан туршилтыг харуулав.

15-р зураг. Устөрөгч гарган авах туршилт

Туршилтыг тогтмол гүйдлийн эх үүсвэрт (зай эсвэл адаптер) холбож, электролизийг идэвхжүүлсэн. Ажиглалтаар катодын орчимд хий ялгарч, дөлөөр шалгахад устөрөгч байгааг батлав. Шүлтлэг усны электролизийг явуулахын тулд гидроксидын ион (OH^-) хэрэгтэй. Үүнийг үүсгэхийн тулд хүнсний содыг ($NaHCO_3$) ашигласан. Дараах тэгшитгэл нь хүнсний сод устай урвалд орох урвалын балансыг тодорхойлно.

$$NaHCO_3 + H_2O \rightarrow NaOH + CO_2(\text{хий}) + H_2O \qquad (16)$$

Үүний дараа натрийн гидроксидын (NaOH) уусмалаар электролизийн процесс явагдана. Устөрөгчийн хий (H_2) болон хүчилтөрөгч (O_2) үүсэх урвал:

Катод дээр: $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2(\text{хий}) + 2OH^-$ Устөрөгчийн хий (H_2) үүсэж, катод дээр ялгарна.

Анод дээр: $2OH^- \rightarrow O_2(\text{хий}) + 2e^- + 2H_2O$ Хүчилтөрөгч (O_2) үүсэж, анод дээр ялгарна.

Электролизийн аргаар хүнсний сод ашиглан устөрөгч гарган авах туршилтыг амжилттай гүйцэтгэв.

ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгаагаар эрчим хүчний системийн шөнийн бага ачааллын үед 420 МВт чадалтай цөмийн цахилгаан станцыг түшиглэн шүлтлэг усны электролизийн аргаар устөрөгч (H_2) үйлдвэрлэх боломжийг судалсан. Ebsilon Professional программ хангамж ашиглан боловсруулсан термодинамик загварыг үр дүнгээс харахад 100 МВт-ын чадалтай электролизийн системийг ашиглахад шөнийн бага

ачааллын үед 2.3 т/ц устөрөгч үйлдвэрлэх боломжтой болохыг тогтоов. Судалгааны үр дүнд 1 кг устөрөгч үйлдвэрлэхэд шаардагдах цахилгаан эрчим хүчний хэмжээ 47.4 кВт.ц, шүлтлэг усны электролизийн АҮК 71% байна. Мөн түүнчлэн устөрөгчийн өөрийн өртөг АНУ, Европт 3-7 ам.доллар/кг, Хятадад 2-3 ам.доллар/кг, Дубай, Саудын Араб (сэргээгдэх эрчим хүч хямд) 1.5-2 ам.доллар/кг байхад уг судалгаагаар устөрөгчийн өөрийн өртөг 1.11 ам.доллар/кг гарав. ЦЦС-ын цахилгаан эрчим хүчний өөрийн өртөг 1.5 цент/кВт.ц гарсан нь устөрөгчийн өөрийн өртгийг бууруулахад нөлөөлж байна.

Электролизийн үр ашиг нь эсийн хүчдэл, гүйдлийн нягт, тэжээлийн усны даралт, температур зэрэг параметрүүдээс хамааралтай болохыг загварчлалын аргаар болон туршилтын судалгаагаар нотолсон. Температур нэмэгдэхэд электролит доторх ионы хөдөлгөөн хурдсаж, эсийн эсэргүүцэл буурснаар нийт эрчим хүчний зарцуулалт багасах хандлагатай байв. Гүйдлийн нягт нэмэгдэхэд эсийн хүчдэл ихсэж, улмаар электролизийн системийн үр ашиг буурч байгааг тогтоолоо.

Судалгааны үр дүнгээс дүгнэхэд, шүлтлэг усны электролиз нь тогтвортой, өндөр үр ашигтай устөрөгч үйлдвэрлэх боломжтой арга болохыг баталж байна. Цаашид устөрөгчийн үйлдвэрлэлийг нэмэгдүүлж, оргил ачаалал хаах устөрөгчийн хийн турбинт цахилгаан станцын чиглэлээр судалгааг гүнзгийрүүлэх боломжтой. Энэ нь Монгол Улсад цэвэр эрчим хүчний технологийг хөгжүүлэх, устөрөгчийн эдийн засагт шилжих боломжийг нэмэгдүүлэх чухал үндэс суурь болно.

ТАЛАРХАЛ

ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургуулийн нийт багш, ажилчид, үе үеийн төгсөгчдөдөө 65-н жилийн ойн мэндийг дэвшүүлье.

Энэхүү судалгааг гүйцэтгэхэд дэмжлэг үзүүлж, Ebsilon Professional программ хангамжийг судалгааны хугацаанд ашиглах боломжийг олгосон EBSILON®Professional компанид гүн талархал илэрхийлье.

Энэхүү судалгааны ажлыг ЭХИС-ийн ДИС-ын “Дулааны цахилгаан станцын симулятор лаборатори”-д хийж гүйцэтгэв. Судалгааны ажлыг удирдсан ахлах багш доктор (Ph.D.) Ш.Энхбаярт талархал илэрхийлье. *Холбогдох зохиогчийн мэдээлэл: enkhbayar.sh@must.edu.mn, 94490717.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] https://www.powermag.com/, Cost-Effective Source of Energy for Hydrogen Production, 2021.

[2] https://www.iea.org/, Global average levelised cost of hydrogen production by energy source and technology, 2019 and 2050, 2020.

[3] https://world-nuclear.org/, Carbon Dioxide Emissions From Electricity, 2024.

[4] https://energy.gov.mn/

[5] S.ShivaKumar,V.Himabindu, Hydrogen production by PEM water electrolysis, 2019.

[6] ThyssenKrupp AG, Hydrogen from large-scale electrolysis

[7] Rachael Elder, Ray Allen, Nuclear heat for hydrogen production: Coupling a very high/high temperature reactor to a hydrogen production plant.

[8] A.I.Schastlivtsev, V.I.Borzenko and D.O.Dunikov, Increase of maneuverability of nuclear and geothermal power plants by hydrogen-oxygen complexes, 2019.

[9] Victor Solovey, Mykola Zipunnikov and Roman Rusanov, Increasing the manoeuvrability of power units of the thermal power plants due to applying the hydrogen-oxygen systems, 2023..

[10] Fawzi Kayali, Integrating Waste Heat from Hydrogen Production into District Heating, 2023.

[11] Alex Badgett, Mark Ruth, Bryan Pivovar, Chapter 10-Economic considerations for hydrogen production with a focus on polymer electrolyte membrane electrolysis, 2022.

[12] Zuoyi Zhang, Yuliang Sun, Economic potential of modular reactor nuclear power plants based on the Chinese HTR-PM project, 2007.

[13] Ibrahim Dincer, Canan Acar, Review and evaluation of hydrogen production methods for better sustainability, 2015.

[14] https://www.toyota.com/ Toyota Mirai leading the way in fuel cell electric vehicle, 2024.

[15] EBSILON®Professional. (2025). Version [17.00]. Iqony Solutions GmbH. https://www.ebsilon.com/en/.

[16] Pavlos Nikolaidis, Andreas Poullikkas, A comparative overview of hydrogen production processes, 2017.

[17] Kai Zeng, Dongke Zhang, Recent progress in alkaline water electrolysis for hydrogen production and applications, 2010.

[18] Zsolt Dobo, Arpad Bence Palotas, Impact of the current fluctuation on the efficiency of Alkaline Water Electrolysis, 2016.

Т-120/130-130-8МО ТУРБИНТАЙ ДУЛААНЫ ЦАХИЛГААН СТАНЦЫН АЖЛЫН БИЕИЙН ПАРАМЕТРИЙН ӨӨРЧЛӨЛТИЙГ ЗАГВАРЧЛАЛ ПРОГРАММ ДЭЭР ТОДОРХОЙЛОХ

Х.Цолмон [1], О.Учрал-Эрдэнэ [2]

Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Дулааны инженерийн салбар

Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: kh.tsolmon@must.edu.mn[1] uchka018@gmail.com[2]

Хураангуй: **''Дулааны Цахилгаан Станц-4'' ТӨХК-ны Т-120/130-130 турбины ашигт үйлийн коэффициентыг тодорхойлох, үндсэн тоноглолуудын тооцоот ачаалал чадлыг хэрхэн хангаж байгааг дүн шинжилгээгээр харах, АҮК-ыг нэмэгдүүлэхэд ямар хүчин зүйл шаардлагатай эсэхийн хамаарлыг гаргасан болно.**

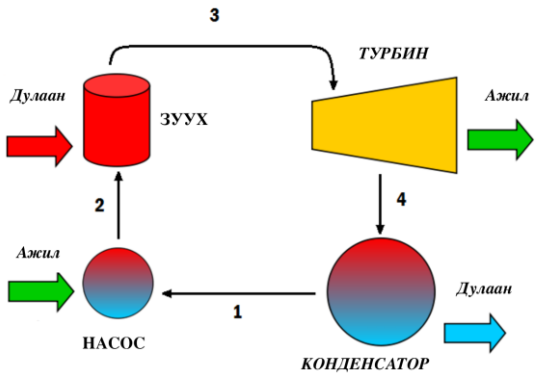
Түлхүүр үг: ***өндөр даралтын турбин, нам даралтын турбин, уур халаагуур, тэжээлийн усны халаагуур, урын конденсатор.***

I. УДИРТГАЛ

"ДЦС-4" ТӨХК нь төвийн бүсийн цахилгаан эрчим хүчний 58.7%, Улаанбаатар хотын дулааны эрчим хүчний хэрэглээний 54.8%-ийг дангаар хангадаг Монгол Улсын эрчим хүчний хамгийн том үйлдвэр юм. Станцын төрөл, ангиллын хувьд хөндлөн холбоос бүхий 8 зуух, 7 турбинтэй цахилгаан дулаан хослон үйлдвэрлэх схемтэй. [1] Уурын турбин нь ПТ-100/110-12.8-1.3 маркийн 1 турбин нь цагт 100МВт цахилгаан эрчим хүч, 103Гкал дулааны эрчим хүч үйлдвэрлэх хүчин чадалтай, үйлдвэрийн отборын уурын 50 т/ц зарцуулалттай үйлдвэрийн болон дулаацуулгын авлагатай, Т-123/130-12.8ПРЗ-1 маркийн 3 турбин нь цагт 123МВт цахилгаан эрчим хүч, 187Гкал дулааны эрчим хүч үйлдвэрлэх хүчин чадалтай дулаацуулгын авлагатай турбин, ПТ80/100-130/13 маркийн 2 турбин цагт 80МВт цахилгаан эрчим хүч, 220Гкал дулааны эрчим хүч үйлдвэрлэх хүчин чадалтай үйлдвэрийн болон дулаацуулгын авлагатай , Т-120/130-130-8МО маркийн 1 турбин цагт 123МВт цахилгаан эрчим хүч, 188Гкал дулааны эрчим үйлдвэрлэх хүчин чадалтай дулаацуулгын авлагатай.

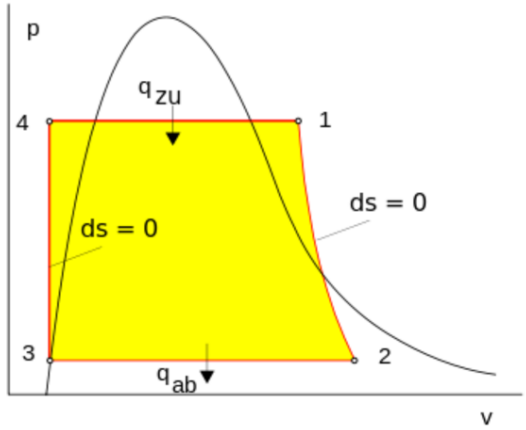
II. РЕНКИНИЙ ЦИКЛ

Ренкиний цикл буюу Ренкиний уурын цикл нь нүүрсээр ажилладаг дулааны цахилгаан станц эсвэл цөмийн реактортай зэрэг цахилгаан станцуудад өргөн хэрэглэгддэг процесс юм. ДЦС, ЦЦС -д түлшийг уурын генератор эсвэл цөмийн реакторд дулаан үйлдвэрлэхэд ашигладаг бөгөөд усыг уур болгон хувиргаж, дараа нь турбинаар тэлж, ашигтай ажил үүсгэдэг. Энэ процессыг 1859 онд Шотландын инженер Уильям Ж.М.Ренкин боловсруулсан байна. [2] Энд дулааныг механик энерги болгон хувиргадаг термодинамикийн цикл бөгөөд ихэвчлэн цахилгаан үйлдвэрлэх замаар цахилгаан болж хувирдаг. Ренкиний циклийн зарчмын схемийг 1-р зураг-д үзүүлэв.



1-р зураг. Ренкиний цикл

Ажлын биеийн өөрчлөлтийг түүний параметрүүдийн өөрчлөлтөөр тодорхойлох ба тэдгээрийн нэг нь Ренкиний циклийг P-V диаграм дээр дүрслэх ба зураг 2-д үзүүлэв.



2-р зураг. Ренкиний циклийн ажлын биеийн даралтын эзлэхүүний P-V диаграмм

Насосоор шингэнийг өндөр даралтанд шахах ба энэ үед гаднаас ажил хийгдэх ба зураг 2 дээр "3-4" процессоор хийгдэнэ. Уурын генераторд шахсан

өндөр даралттай шингэнийг буцлах температур хүртэл халаадаг тул шингэнээс уур хүртэл фазын өөрчлөлт гардаг. Энэ процессыг “4-1” дүрслэгдэнэ.

Уурын генераторд өндөр даралт температуртай болсон уур турбин орж тэлэлт хийх ба “1-2” процессоор параметрүүд өөрчлөгдөнө. Конденсаторд уурын конденсацлагдаж, хаягдал дулаан нь эцсийн дулаан шингээгч рүү агаар мандалд эсвэл их хэмжээний ус (нуур, гол гэх мэт) ордог. Энэ процесс P-V диаграмм дээр “2-3” процесс байна. [3]

III. Үр дүн

Ренкиний циклээр өөрчлөгдөж байгаа ажлын биеийн параметрийн өөрчлөлт ДЦС-ын үндсэн тоноглол болох уурын генератор, уурын турбин, конденсатор, тэжээлийн усны техникийн үзүүлэлт, ашиглалтын горим зэрэг болон бусад нөхцөлүүдээс хамаарна. Ажлын биеийг үр ашигтай ашиглах тоноглолуудын ажиллагааг оновчтой байлгах нь Ренкиний циклийн АҮК-той хамааралтай үүний тулд Ренкиний циклийг загварчлалыг программ дээр хийж, практик дээр хийхэд хүндрэлтэй ажлын бие болон тоноглолуудын техникийн үзүүлэлтийг өөрчилж үр дүнгээр шинжилгээ хийж боломжтой болно. “ДЦС-4” ТӨХК-ийн Т-120/130-130-8МО уурын турбины загварчлалын блок Ренкины циклээр тодорхойлогдож байгаа ажлын бие, тоноглол тэдгээрийн параметрүүдийг авч үзье. [4]

1. Загварчлалын үндсэн тоноглолын блокууд

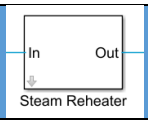
Т-120/130-130-8МО уурын турбинтай ДЦС-ын загварчлалд дараах үндсэн болон туслах тоноглолуудыг сонгон авч үзэв. [5]

Үүнд:

- *Уурын генератор*
- *Уур халаагуур*
- *Нам даралтын турбин*
- *Өндөр даралтын турбин*
- *Уурын конденсатор*
- *Тэжээлийн усны насос*
- *Тэжээлийн усны халаагуур*

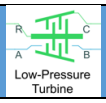
УУР ХАЛААГУУРЫН БЛОК

1-Р ХҮСНЭГТ.

	**Параметр**
Даралт МПА	1.2
Температур °С	400
Хоолойн урт (м)	4

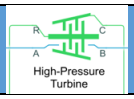
НАМ ДАРАЛТЫН ТУРБИНЫ БЛОК

2-Р ХҮСНЭГТ

	**Параметр**
Даралт МПА	6
Механик ашигт үйлийн коэффициент	0.9
Номинал массын зарцуулалт кг/с	1.5

ӨНДӨР ДАРАЛТЫН ТУРБИНЫ БЛОК

3-Р ХҮСНЭГТ.

	**Параметр**
Даралт МПА	12
Механик ашигт үйлийн коэффициент	0.9
Номинал массын зарцуулалт кг/с	1.5

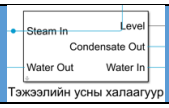
УУРЫН КОНДЕНСАТОРЫН БЛОК

4-Р ХҮСНЭГТ

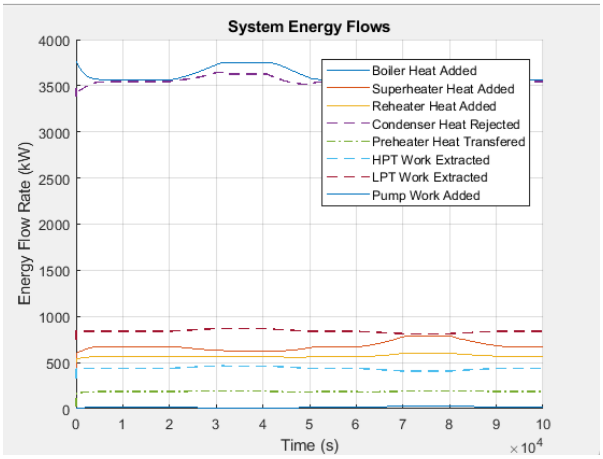
	Параметр
Даралт (МПа)	0.0057
Хөргөлтийн температур(°С)	15
Дулаан дамжуулах коэффициент (Вт/м^2 · К)	3500

ТЭЖЭЭЛИЙН УСНЫ ХАЛААГУУРЫН БЛОК

5-Р ХҮСНЭГТ

	**Параметр**
Даралт МПА	0.9
Эзлэхүүн м^3	0.1
Дулаан дамжуулах коэффициент (Вт/м^2 · К)	12000

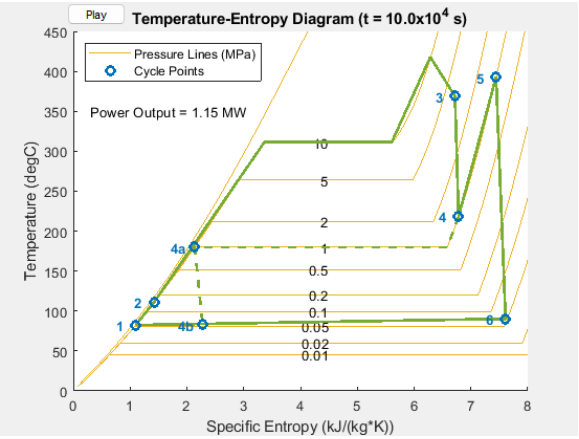
2. Загварчлалын процессын үр дүн



3-р зураг. Системийн энергийн зарцуулалт

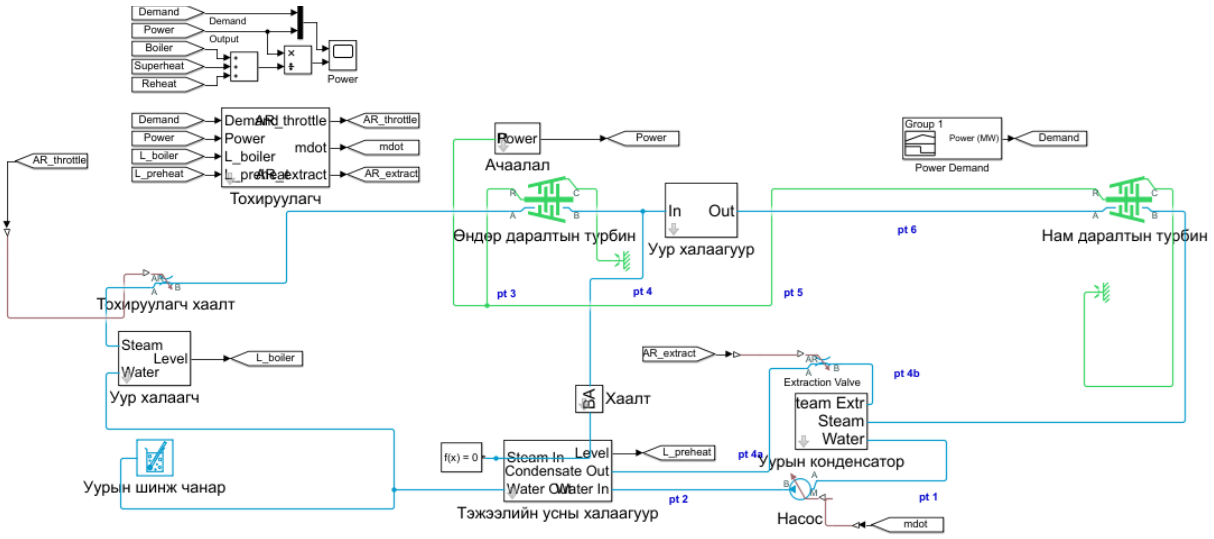
Энд өгөгдсөн параметртэй болох ажлын биеийн Ренкины циклийн процессын үр дүнд системийн энергийн зарцуулалт хугацаанаас хамаарч хэрхэн

өөрчлөгдөж байгааг 3-р зураг-д, Ренкиний циклийн процессыг 4-р зураг-д харуулсан болно.



4-р зураг. Ренкины циклийн T-S диаграм

3. T-120/130-130-8МО турбинтай ДЦС-ын уур-усны өөрчлөлтийн циклийн загварчлал



5-р зураг. T-120/130-130-8 МО турбинтай ДЦС-ын уур-усны өөрчлөлтийн загварчлалын схем

IV. Дүгнэлт

Дулаан ба цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэдэг ДЦС ба ЦЦС-ын ажиллагааны үндсэн үзүүлэлт АҮК-ийг дулаан, цахилгааны, цэвэр үйлдвэрлэсэн хэмжээгээр тодорхойлох ба 98.8%-ын АҮК-той үр дүн гарлаа. Механик чадлын гаралтын үр дүн 1.18МВт буюу даалгаврын утгадаа (1.2МВт) хүрэхэд 1.6% буюу 0.02 МВт дутаж байна. Үүнээс дүгнэхэд турбины маань бүрэн чадлаараа ажиллаж эцсийн бүтээгдэхүүн уурыг алдагдалтай тун багатай үр ашиг өндөртэй үйлдвэрлэж байна. Загварчлалын үр дүн дээрх параметрүүдийг өөрчилж процессын өөрчлөлтийг урт хугацааны туршид тодорхойлох боломжтой ба сургалт ба судалгааны ажилд ашиглах боломжтой болно.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] www.tpp4.mn “ДЦС-4-ын тоноглолууд,”

[2] https://energyeducation.ca/encyclopedia/Rankine_cycle#:~:text=The%20Rankine%20cycle%20or%20Rankine,a%20turbine%20producing%20useful%20work.

[3] Ж.Цэен-Ойдов, “Техникийн термодинамик,”-2, Улаанбаатар, 1999.

[4] “www.mathworks.com,”

[5] “Турбины үзүүлэлтүүд,”

[6] “https://commons.wikimedia.org/,”

ЗИГЛЕР НИКОЛЬСИЙН АРГААР ПИД КОНТРОЛЛЕРЫГ ХӨГЛӨХ СУДАЛГАА

Батцагааны ОТГОНБИЛЭГ, Дамирангийн ҮЛЭМЖ
Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль,
Дулааны инженерийн салбар, Дулааны процессын автоматжуулалт
**Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг:otgoobattsagaan@gmail.com ulemjd@must.edu.mn*

***Хураангуй*: Энэхүү эрдэм шинжилгээний өгүүлэлд манай орны дулаан цахилгаан болон дулааны системд өргөнөөр ашиглагддаг ПИД контроллерыг Зиглер Никольсийн аргаар хөглөх аргыг авч үзлээ. Судалгааны ажлын объектоор түвшин тохируулгын системийг сонгон авсан. Зиглер Никольсийн аргаар ПИД контроллерын хөглөлтийн параметрүүдийг оновчтой утгыг сонгон авч түвшин тохируулгын системийн түвшнийг тохируулах чанарын үзүүлэлтийг сайжруулсан.**

Түлхүүр үг: Дамжуулалтын функц, Матлаб, Оролт дохио, Гаралт дохио

I. Оршил

Өнөө үед автоматжуулалтын системүүд үйлдвэрлэлийн бүхий л салбарт өргөн хэрэглэгдэж байна. Эдгээр системийн хамгийн чухал бүрэлдэхүүн хэсгүүдийн нэг нь ПИД (Пропорциональ-Интеграл-Дифференциал) контроллер бөгөөд түүний үндсэн зорилго нь динамик системийг оновчтой удирдах явдал юм. ПИД контроллер нь олон төрлийн үйлдвэрлэл, эрчим хүч, хими, автоматжуулалт, робот техник зэрэг салбарт өргөн хэрэглэгддэг бөгөөд тохируулгын нарийвчлалаас системийн тогтвортой байдал, гүйцэтгэл хамаардаг. ПИД контроллерын хөглөлтийн параметрүүдийг оновчлох олон аргачлалууд байдгаас Зиглер Никольсийн арга нь хамгийн түгээмэл хэрэглэгддэг бөгөөд энэхүү арга нь процессын шилжилтийн тодорхойломжоос хамааран тохирох ПИД контроллерын хөглөлтийн параметрүүдийг [2] тодорхойлох боломжийг олгодог. Түвшин тохируулга нь олон төрлийн үйлдвэрлэлийн салбарт чухал үүрэг гүйцэтгэдэг бөгөөд тэр дундаа эрчим хүчний үйлдвэрлэл, химийн үйлдвэрлэл, хүнсний үйлдвэрлэл, ус цэвэршүүлэлт зэрэг салбарт өргөн хэрэглэгддэг. Хүнсний үйлдвэрлэлд хүнсний бүтээгдэхүүн боловсруулах үйлдвэрүүдэд шингэн найрлагын хэмжээг нарийвчлалтай хянах сүү, ундаа, соус зэрэг бүтээгдэхүүн үйлдвэрлэх явцад савны түвшин тогтвортой байлгахад чиглэдэг. Эрчим хүчний үйлдвэрлэлд дулааны цахилгаан станцуудад бойлерын усны түвшинг нарийн тохируулах нь аюулгүй ажиллагааг хангах, тоног төхөөрөмжийн элэгдлийг багасгах, хэт их ачаалал үүсэхээс сэргийлэх зэрэг ач холбогдолтой. Ус цэвэршүүлэх байгууламжид шингэний түвшинг тогтмол барих нь усны чанар, системийн аюулгүй ажиллагааг хангахад зайлшгүй шаардлагатай. Гэсэн хэдий ч энэ арга нь зарим системд тогтворгүй байдал үүсгэх эрсдэлтэй байдаг тул тохируулгын үр дүнг бусад аргачлалуудтай харьцуулан судлах шаардлагатай болдог. Энэхүү судалгааны ажлаар Зиглер Никольсийн аргаар ПИД контроллерын хөглөлтийн параметрүүдийг оновчлон олж, түүний үр дүнг задгай системээр хийгдсэн туршилттай харьцуулахад суурилсан болно. Судалгааны туршилтыг ШУТИС Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургуулийн Дулааны инженерийн салбарын Автомат удирдлагын онол, автоматжуулалтын лабораторийн CE105 шингэний түвшин хянах тохируулах системийг сонгов. Өөрөөр хэлбэл ПИД контроллер [2] ашиглан шингэний түвшинг тогтмол байлгах, операторын өгсөн даалгаврын утганд хүргэх зорилгоор тохируулга хийгдсэн. Энэхүү туршилтаар ПИД коэффициентыг Зиглер Никольсийн аргаар тохируулж, системийн шилжилтийн тодорхойломжийг судалсан болно. Судалгааны эцэст ПИД тохируулгын үр дүнг тогтвортой байдал, шилжилтийн процессын шинж чанар, тогтворжилтын хугацаа зэрэг үзүүлэлтүүдээр үнэлж, харьцуулалт хийсэн. Өгүүллийн I хэсэгт оршил, II хэсэгт туршилтын объектын тухай, III хэсэгт Зиглор Никольсийн аргачлалын тухай, туршилтын судалгааны үр дүнг IV хэсэгт, эрдэм шинжилгээний өгүүллийн дүгнэлтийг V хэсэгт тус тус дурьдав.

II. Объектын тухай

1. CE105 шингэний түвшин тохируулах систем

CE105 нь шингэний түвшинг хянах, удирдах зориулалттай лабораторийн туршилтын төхөөрөмж юм. Энэхүү стенд нь ПИД контроллерын тохируулга, системийн динамик хариу үйлдлийг судлахад ашиглагддаг. CE105 нь ихэвчлэн дараах бүрэлдэхүүн хэсгүүдээс бүрдэнэ: Танк: Шингэнийг хадгалах сав бөгөөд түвшинг хянах үндсэн объект болдог Насос: Шингэнийг танк руу шахах буюу эргүүлэх үүрэгтэй. Түвшний мэдрэгч: Танкийн шингэний түвшинг хэмжиж, мэдээллийг хяналтын системд дамжуулна. Хяналтын систем: ПИД контроллер болон холбогдох электроникийн хэсгүүдээс бүрдэж, шингэний түвшинг тогтмол байлгахын тулд насосыг удирддаг.

1-р зураг. CE105 шингэний түвшин тохируулах систем [3]

CE105 төхөөрөмжийг [3] ашигласнаар оюутан, судлаачид шингэний түвшний хяналтын системийн динамик шинж чанар, ПИД контроллерын тохируулга, системийн тогтвортой байдал зэрэг ойлголтуудыг практик дээр судлах боломжтой. Мөн энэ төхөөрөмж нь автоматжуулалтын системийн загварчлал, симуляци хийх, бодит систем дээр туршилт явуулахад өргөн хэрэглэгддэг. 1-р зурагт дулааны процессын удирдлагын объектыг үзүүлэв.

2. CE120 контроллер

CE120 нь контроллер нь лабораторийн төхөөрөмж бөгөөд үйлдвэрийн процессын үндсэн бүрэлдэхүүн хэсгүүдийг багтаасан. Бага хүчдэлийн оролт, гаралтуудтай тул лабораторийн зорилгоор ашиглахад тохиромжтой. Уг төхөөрөмж нь ПИД (пропорциональ, интеграл, дериватив) хяналтын блокуудыг агуулсан бөгөөд хяналтын системийн нарийвчлалыг сайжруулах боломжтой. Компьютерын интерфэйсээр TecQuipment-ийн CE2000 хяналтын программ хангамжтай холбогдож, өгөгдөл цуглуулах, удирдлага хийх боломжтой. Тодорхой тэмдэглэгээгээр удирдлагын холболтыг ойлгомжтой болгож, хэрэглэгчдэд хялбар байдлыг хангана. ПИД тохируулгад зориулсан параллель холбогдсон пропорциональ, интеграл, дериватив блокуудтай бөгөөд эдгээрийн параметрүүдийг нарийвчлан тохируулах боломжтой. Мөн USB интерфэйсээр найман аналог-дижитал оролт, дөрвөн дижитал-аналог гаралтыг ашиглан компьютертой холбогдоно. Энэ төхөөрөмж нь туршилтын орчинд ПИД [3] хяналтын системийн ажиллагааг гүнзгий судлах, тохируулгын үр ашгийг үнэлэх, бодит хяналтын алгоритмуудыг хэрэгжүүлэхэд чухал үүрэг гүйцэтгэнэ. 2-р зурагт CE120 контроллерыг үзүүлэв.

2-р зураг. CE120 контроллер [1]

III. Зиглер Никольсын арга

Зиглер Никольсийн арга нь ПИД контроллерын параметрүүдийг тохируулахад түгээмэл хэрэглэгддэг аргачлал юм. Энэ аргыг анх 1942 онд Жон Г. Зиглер болон Натаниал Б.Никольс нар боловсруулсан бөгөөд [2] үйлдвэрийн процессуудад ПИД хяналтыг хурдан, үр дүнтэй тохируулах зорилготой. Энэ арга нь процессын динамик шинж чанарыг ашиглан ПИД параметрүүдийг тооцоолдог бөгөөд тохируулгын үндсэн хоёр аргачлалтай: Step Response болон Ultimate Gain арга. Step response арга нь процессын хариу үйлдэлд үндэслэн ПИД тохиргоог тодорхойлох аргыг ашигладаг. Процессыг ажиллуулж, тогтвортой байдалд хүргээд, нэгж шаталсан үйлчилгээ оролтын нөлөөгөөр үүссэн S-хэлбэрийн хариуг бүртгэнэ. Үүнээс хожимдлын хугацаа (L) болон өсөлтийн хугацаа (T) болон тогтворжилтын хугацаа (K)-г тодорхойлсны дараа дараах томьёогоор ПИД коэффициент тооцоолдог. Зиглер Никольсийн арга нь [2] ПИД хяналтын системийг хурдан тохируулах энгийн бөгөөд үр дүнтэй аргачлал боловч зарим тохиолдолд хэт их хэлбэлзэл (overshoot), тогтворгүй байдал үүсгэж болзошгүй. Иймээс ПИД тохируулгыг илүү нарийвчлалтай хийхийн тулд сайжруулсан алгоритмууд (Autotuning, Adaptive Control, Machine Learning-д суурилсан тохируулга) ашиглах боломжтой. K_p, K_i, K_d коэффициентуудыг тооцож олох томьёог (1)-р хүснэгтэд үзүүлэв.

ПИД коэффициентийг олох хүснэгт

1-р хүснэгт.

Тохируулгын төрөл	K_p	K_i	K_d
П	1.2*(T/L)	-	-
ПИ	0.9*(T/L)	3L	-
ПИД	1.2*(T/L)	2L	0.5L

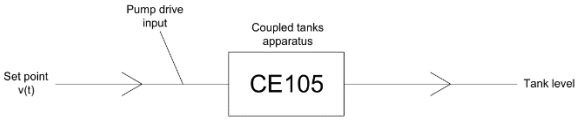
1-р хүснэгт. (*ПИД коэффициент)*

IV. Туршилт судалгааны үр дүн

A. Задгай системийн шилжилтийн тодорхойломж тодорхойлох

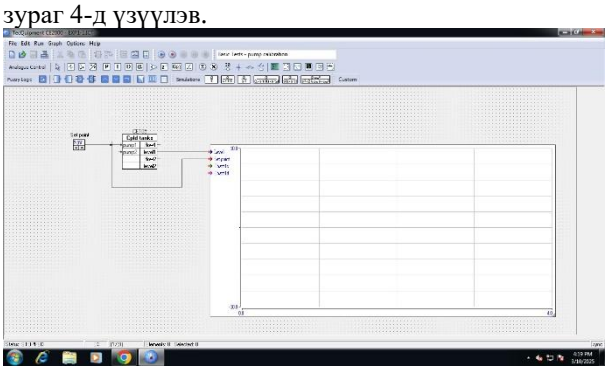
Туршилтыг CE105 төхөөрөмж дээр хийхдээ 1-р савны түвшин тохируулах нөхцөлөөр хийж гүйцэтгэв. 1 болон 2-р савны харьцах хавхалгыг бүрэн хаалттай, 1-р савны шавхах хаалтыг 50% нээлттэй байдлаар туршилтыг эхлүүлсэн.

Туршилтын ажлын зорилго нь [3] CE105 удирдлагын объектын өөрийн анхны төлөв байдлын дамжуулалтын функцийг тодорхойлох, задгай системийн шилжилтийн тодорхойломжийг гаргаж авахад оршино. 3-р зурагт CE105 түвшин тохируулах төхөөрөмжийн задгай системийн бүтцийн схемийг үзүүлэв.



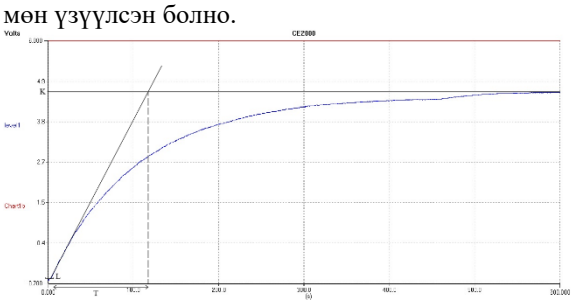
3-р зураг. Задгай системийн бүтцийн схем

CE2000 программ хангамжид зураг 3-д үзүүлсэнчлэн задгай системийн бүтцийн схемийг зохион гарган авч туршилтыг үргэлжлүүлснийг зураг 4-д үзүүлэв.



4-р зураг. CE2000 программ хангамж дээрх задгай системийн бүтцийн схем

Туршилтыг эхлүүлэхдээ түвшний даалгаврын утгыг 6В өгч түвшин тогтворжтол шилжилтийн тодорхойломжийг гарган авсан. 596 секундийн дараа түвшин тогтворжсон бөгөөд уг шилжилтийн тодорхойломжийг зураг 5-д үзүүлэв. Уг шилжилтийн тодорхойломжоос K, L, T -г коэффициентуудыг тооцож гарган авах аргачлалыг мөн үзүүлсэн болно.



6-р зураг. Задгай системийн шилжилтийн тодорхойломж ба K, L, T коэффицент гарган авсан байдал

6-р зурагт үзүүлсэн шилжилтийн тодорхойломжоос K, L, T коэффициентуудыг тодорхойлсныг 2-р хүснэгтэд үзүүлэв.

K, L, T КОЭФФИЦИЕНТ

2-Р ХҮСНЭГТ.

K	L	T
4.59	5	113.16

2-р хүснэгт. K, L, T коэффициент

Эхний туршилтаас харахад тогтворжилтын хугацаа 595 секунд байсан бөгөөд даалгаврын утга 6В-д хүрч чадаагүй болно.

Б. ПИД контроллер ашиглан битүү автомат удирдлагын системийн шилжилтийн тодорхойломж тодорхойлох

Энэ туршилтын зорилго нь IV.А хэсэгт туршсан задгай системийг ПИД контроллертой битүү систем болгон бүтцийн схемийг өөрчлөн туршиж шилжилтийн тодорхойломжийг чанарын үзүүлэлт өндөр гарган авах юм.

K_p, **K_i**, **K_d** коэффициентуудыг (1)-р хүснэгтээс тооцож олсныг Хүснэгт 3-д үзүүлэв.

ПИД КОЭФФИЦИЕНТ

3-Р ХҮСНЭГТ.

K_P	K_I	K_D
22.63	10	2.5

2-р хүснэгт. (Пид коэффициент)

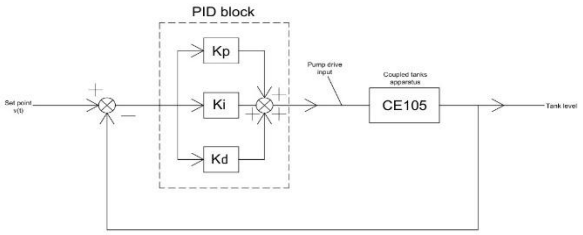
Объектын дамжуулалтын функцийг (1)-р тэгшитгэлээс харж болно.

$$W_{об} = K_p(1 + \frac{1}{K_i s} + K_d s) \qquad (1)$$

Тооцооноос гаргана авсан дамжуулалтын функцийг (2)-р тэгшитгэлд үзүүлэв.

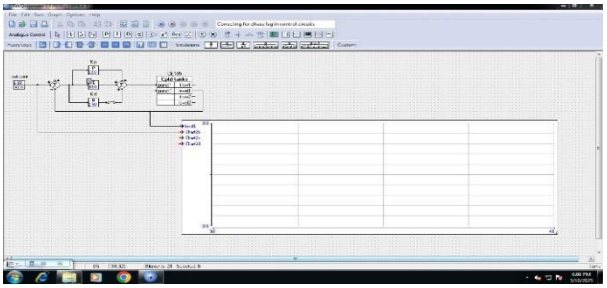
$$W_{об} = \frac{10s}{575.75s^2+226.3s+22.63} \qquad (2)$$

Зиглер Никольсийн аргын үр дүнд гарсан коэффициентыг ашиглана ПИД контроллерыг хөглөнө. Гэдрэг холболттой битүү системийн бүтцийн схемийг 7-р зурагт харуулж байна.



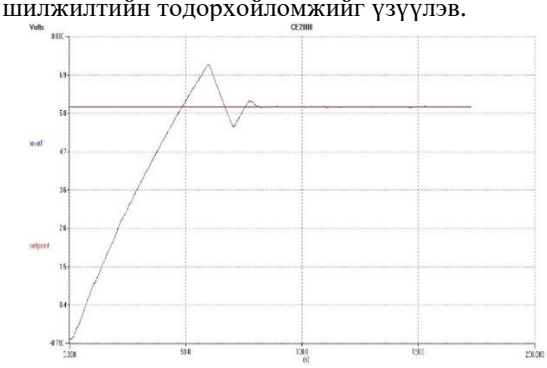
7-р зураг. Битүү системийн бүтцийн схем

8-р зурагт CE2000 программ хангамжид ПИД контроллертой битүү системийн бүтцийн схемийг зохион гаргана авч туршилтыг үргэлжлүүлсэн болохыг үзүүлэв.



8-р зураг. CE2000 программ хангамж дээрх битүү системийн бүтцийн схем

9-р зурагт тухайн объектын ПИД контроллертой битүү системийн бүтцийн схемтэй ажиллах үеийн шилжилтийн тодорхойломжийг үзүүлэв.



9-р зураг. Битүү системийн шилжилтийн тодорхойломж

Гарган авсан шилжилтийн тодорхойломжийн тогтворжсон хугацаа, хэт тохируулга, нам тохируулгыг (4)-хүснэгтэд үзүүлэв.

ЧАНАРЫН ҮЗҮҮЛЭЛТҮҮД

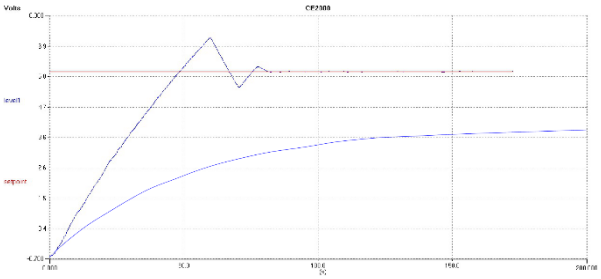
4-Р ХҮСНЭГТ

Хэт тохируулга (%)	*Нам тохируулга (%)*	*Тогтворжсон хугацаа (с)*
18,34	11	64

4-р хүснэгт. (Чанарын үзүүлэлтүүд)

B. Задгай болон битүү системийн шилжилтийн тодорхойломжийн харьцуулсан үр дүн

IV.А болон IV.Б хэсэгт дурдсан туршилтын үр дүнгүүд буюу шилжилтийн тодорхойломжийг харьцуулсныг 10-р зурагт үзүүлэв.



10-р зураг. Задгай болон битүү системийн шилжилтийн тодорхойломж

Дээрх шилжилтийн тодорхойломжуудын чанарын үзүүлэлтийг харьцуулан авч үзсэнийг хүснэгт 5-д үзүүлэв.

ЧАНАРЫН ҮЗҮҮЛЭЛТҮҮД

5-Р ХҮСНЭГТ

АУС	*Хэт тохируулга (%)*	*Нам тохируулга (%)*	*Тогтворжсон хугацаа (с)*
Задгай	0	0	595
Битүү	18,34	11	64

5-р хүснэгт. (АУС-ын чанарын үзүүлэлт)

V. ДҮГНЭЛТ

Энэхүү эрдэм шинжилгээний, судалгааны ажлыг CE105 түвшин тохируулах лабораторийн төхөөрөмж дээр тулгуурлан Зиглер Никольсийн аргийн үр ашиг түүнчлэн практикт нэвтрүүлэх талаар судалж үр ашгийг туршилтын аргаар баталж үзүүлсэн болно. Туршилтын үр дүн нь объектын дамжуулалтын функцийг ашиглан түүнийг хөглөх, хөглөлтийн параметрүүдийн оновчтой утгуудыг Зиглер Никольсийн аргачлалын тусламжтай тодорхойлов. Туршилтын үр дүнгээс харвал задгай системийн шилжилтийн тодорхойломжийн тогтворжих хугацаа нь 595 секунд байсан бол Зиглер Никольсийн аргаар хөглөсөн ПИД контроллертой битүү автомат удирдлагын системийн тогтворжих хугацаа 64 секунд болтол бууруулж буй нь энэ аргаар ПИД контроллерын хөглөлтийн параметр, коэффициентыг оновчлох нь илүү ашигтай богино хугацаанд системийн алдааг арилгаж, тогтворжуулж чанарын үзүүлэлтийг сайжруулсан.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] Ц.Эрдэнэцэцэг, Д.Үлэмж Автомат удирдлагын систем, автоматжуулалт лабораторын гарын авлага, Улаанбаатар, 2019

[2] Жон Г.Зиглер, Натаниал Б.Никольс PID Control: Ziegler Nichols tuning U.S.A 2013

[3] TecQuipment, "CE105 Thermal process control," TecQuipment, Nottingham, 2006.

БЭЛЧЭЭРИЙН МОНГОЛ ҮХРИЙН МАХНЫ ДУЛААНФИЗИКИЙН ПАРАМЕТРЫГ ТОДОРХОЙЛОХ, ХАРЬЦУУЛСАН СУДАЛГАА

Г.Ханхүү[1], М.Оюун-Эрдэнэ[2]

Дулааны инженерийн салбар, ЭХС, ШУТИС, Улаанбаатар, Монгол улс

Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: [1]gantumurhanhvv@gmail.com

Хураангуй: **Амьтны гаралтай хүнсний бүтээгдэхүүнийг хөргөх, хөлдөөх, гэсгээх, хатаах технологийн үргэлжлэх хугацааг оновчилж, дулааны ачааллыг тооцох нь хадгалалтын үеийн жингийн алдагдал, тоног төхөөрөмжийн ачаалал, эрчим хүчний зарцуулалтыг бууруулж, нэгж хүйтэн үйлдвэрлэлийн өөрийн өртгийг багасгаж, үр ашгийг нэмэгдүүлэх боломжтой. Иймд амьтны гаралтай бүтээгдэхүүнийг Олон улсын HACCP стандартыг баримталж бусад улсууд руу экспортлох боломжтой.**

Энэ тооцоонд дулаанфизикийн үзүүлэлтүүд λ-дулаан нэвтрүүлэлт, ρ-нягт, α□температур дамжуулалт, с–дулаан багтаамж нэн чухал. Эдгээр хэмжигдэхүүнүүд бүтээгдэхүүний химийн найрлага, бүтэц, дулааны төлөв байдлаас хамаарч өөрчлөгдөж байдаг тогтмол бус хэмжигдэхүүнүүд юм.

Бүтээгдэхүүний хүйтний боловсруулалтын үеийн дулааны тооцоонд гол төлөв дулаанфизикийн үзүүлэлтийн тооцоот параметрийг ашигладаг. Энэ үзүүлэлт хөлдөөх технологийн үед илүүтэй тавигдана. Хүнсний бүтээгдэхүүн хөлдөж эхэлснээр тэдгээрийн гистологийн бүтэц, дулаанфизикийн шинж, үзүүлэлт, ферментийн систем нь өөрчлөгдөж эхэлдэг. Эдгээр өөрчлөлтийг бүтээгдэхүүний амт, бүтэц, тэжээллэг чанарт сөрөг нөлөө үзүүлэхгүй байхаар зохицуулж тохируулах нь хүнсний бүтээгдэхүүнийг хөлдөөх технологийн гол зорилго болдог.

Бүтээгдэхүүний дулаанфизикийн параметрийг туршилтаар тодорхойлох олон арга байдаг. Эдгээр аргуудаас жигд горимын аргыг өргөн хэрэглэдэг. Энэ аргыг махны хүйтний боловсруулалтын үед хэрэглэх нь хамгийн тохиромжтой бөгөөд гол шаардлага нь орчны температур, бүтээгдэхүүний гадаргуугаас өгөх дулаан өгөлтийн коэффициентийн тогтмол утгыг хангах чухал [3].

Энэ судалгаагаар дулаанфизикийн параметрүүдийг монгол үхрийн махны хувьд тодорхойлон үйлдвэрийн нөхцөлд ашиглах боломжийг олгох нь энэхүү судалгааны ажлын ач холбогдол юм.

Түлхүүр үгс: HACCP стандарт, дулаан нэвтрүүлэлт, дулаан багтаамж, температур дамжуулалт, хөлдөлтийн горим, хүнсний бүтээгдэхүүн

I. УДИРТГАЛ

Дэлхий даяар махны хэрэглээ хүн амын өсөлт, хотжилт, эдийн засгийн хөгжилтэй шууд холбоотойгоор нэмэгдсээр байна. НҮБ -ын Хүнс, Хөдөө аж ахуйн байгууллагын мэдээлснээр, 2050 он гэхэд дэлхийн махны хэрэглээ 70% -иар өсөх төлөвтэй байгаа бөгөөд энэ нь хүн амын өсөлт, амьдралын хэв маягийн өөрчлөлт, хөгжиж буй орнуудад махны эрэлт нэмэгдэж буйтай холбоотой [13].

Иймд цаашид махны үйлдвэрлэл, хэрэглээг тогтвортой хөгжүүлэх, байгаль орчинд ээлтэй арга технологи нэвтрүүлэх нь дэлхийн хүнсний аюулгүй байдлыг хангахад чухал ач холбогдолтой юм.

Манай орны хувьд махыг хөргөх, хөлдөөх, хадгалах, гэсгээх (хүйтний боловсруулалт)-д 1970-д оны үед Оросын эрдэмтдийн боловсруулсан тооцооны аргачлал, тодорхойлсон коэффициентуудыг шууд авч хэрэглэсээр байгаа нь улам бүр өсөн нэмэгдэж байгаа өнөөгийн зах зээлийн стандарт, шаардлагад нийцэхгүй, Монгол бэлчээрийн малын махны биохимийн найрлага, онцлогт тохирохгүй байна. Иймд, махны хөлдөөлтийн үеийн дулаанфизикийн судалгаа хийх зайлшгүй шаардлагатай. Манай оронд байгаль, уур амьсгалын онцлог, бэлчээрийн гарц зэргээс хамаарч мах бэлтгэх үйл ажиллагаа бүтэн жилийн турш явагддаггүй. Энэ нь эрс тэрс уур амьсгалын нөлөөн дэх бэлчээрийн мал аж ахуйн онцлог билээ. Үүний тулд махыг оновчтой горимоор амт, шим тэжээллэг чанарыг хадгалж урт хугацаанд хөлдүү махны тохиромжтой горимоор нөөцлөхийн тулд хөлдөөх шаардлага гардаг.

Монгол үхрийн махыг удаан хугацаанд чанар сайтай хөлдөөж, хадгалах орчин цагийн хүйтэн боловсруулалтын технологийг хэрэглэхэд бүтээгдэхүүний дулаан физикийн үндсэн үзүүлэлт болох (дулаан багтаамж (с), дулаан нэвтрүүлэлт (λ), температур дамжуулалтын коэффициент (а)-ыг заавал судалж тодорхойлсон байх шаардлагатай.

Температурын өөрчлөлтөөс хамааран бүтээгдэхүүн агуулагдах ус фазын төлөвөө өөрчилдөг шинж чанарыг хүнсний бүтээгдэхүүний дулаанфизикийн шинж чанарт хамруулан авч үздэг.

Зах зээлд, хэрэглэгчийн хэрэгцээ, шаардлагаар ургамлын болон амьтны гаралтай хөргөж, хөлдөөсөн бүтээгдэхүүний тоо төрөл өсөн нэмэгдэж байгаа нь тухайн бүтээгдэхүүний боловсруулалт, үйлдвэрлэлийн технологи өөрчлөгдөх шалтгаан болдог.

Дулаанфизикийн параметрийг оновчтой тодорхойлох нь инженерийн тооцоог нарийвчлах, технологийн процессын үргэлжлэх хугацааг оновчлох, улмаар үүнтэй уялдсан цахилгааны

зардал болон бүтээгдэхүүний өөрийн өртгийг бууруулахад чухал ач холбогдолтой.

Судалгааны үр дүнд суурилан “Бэлчээрийн малын мах” үндэсний стандарт боловсруулах нь монгол малын махны аюулгүй байдал, чанарын үзүүлэлтийн хэм хэмжээг тогтоож, бэлтгэн нийлүүлэгч, үйлдвэрлэгч, худалдан авагчдын дунд нэгдмэл ойлголт бий болгох ач холбогдолтой.

Бэлчээрийн монгол малын махны онцлогийг дурдвал:

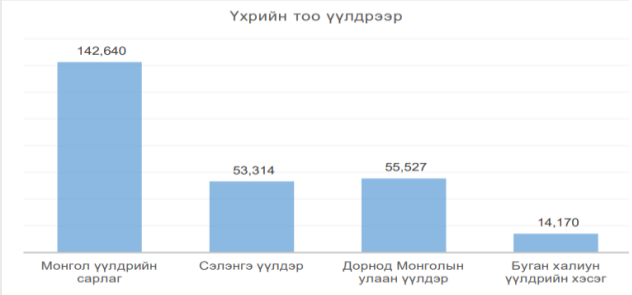
1. Монгол бэлчээрийн малын мах бие мах бодийн өсөлт, нөхөн төлжилт, биеийн эсэргүүцлийн сайжруулж, хүний биеийн шаардлагатай уургийн хэрэгцээг хангахын зэрэгцээ өндөр илчлэг бүхий өөх тосоор хангахад чухал үүрэг гүйцэтгэдэг.

2. Махны уураг нь үл орлогдох амин хүчил агуулсан төгөлдөр уургын эх үүсвэр юм.

3. Маханд агуулагдах карнозин, креатин, пурины суурь зэрэг хандлагч бодис байдаг нь шөлийг өвөрмөц амттай болгодог. Махны хандлагч бодис нь хоол боловсруулах эрхтэний шүүс ялгаруулалтыг идэвхжүүлэн, хоолны шингэцийг сайжруулж өгдөг.

4. Бэлчээрийн малын мах нь хүнд элементийн агууламж багатай бөгөөд экологийн цэвэр маханд тооцогддог.

Монгол үхрийн мах нь байгалийн цэвэр орчинд, бэлчээрийн мал аж ахуйн аргаар өсгөсөн учир химийн бордоо, нэмэлт тэжээл бага хэрэглэдгээрээ онцлогтой. Үхэр нь жилийн турш байгалийн өвс, ургамал идэж, хатуу ширүүн уур амьсгалд дасан зохицдог тул мах нь шим тэжээл ихтэй, өвөрмөц амттай байдаг. Монгол үхрийн махны хувьд хандлагч бодис харьцангуй их байдгаас өвөрмөц үнэр амттай, дотор өөх нь концентраци ихтэй, тураг мах тосны гарц ихтэй байдаг нь түүний онцлог шинж чанар юм. Үхрийн махыг зонхилон өвлийн улиралд хэрэглэдэг[4].



1-р зураг. Үхрийн тоо толгойн үзүүлэлт

МОНГОЛ МАЛЫН МАХНЫ БУЛЧИН ЭДИЙН БИОХИМИЙН НАЙРЛАГА

1-Р ХҮСНЭГТ

Үзүүлэлт	Хонь	Үхэр	Адуу	Ямаа	Тэмээ
Уураг	18.82	20.35	20.11	21.25	21.30
Тос	2.78	2.15	1.73	2.93	3.14
Эрдэс	1.11	1.16	1.1	1.33	1.3
Чийг	75.74	75.47	76.06	74.36	74.06

Нэг хүнд ноогдох мал аж ахуйн түүхий эдээр дэлхийд тэргүүлэгч байр суурьтай байгаа ч олон улсын хэрэгцээний шаардлага, стандартыг хангаж чадахгүй байна.

Оросын эрдэмтэн Д.Г.Рютов, В.В.Жадан нарын тодорхойлсон дулаанфизикийн үзүүлэлтийг шууд авч хэрэглэсэн нь Монгол малын махны биохимийн найрлага, хэрэглээний онцлогт нийцэхгүй байна.

Уураг, өөх тос, нүүр ус, ус, үнс, эрдсийн агууламжтай олон бүрэлдэхүүнт хүнсний бүтээгдэхүүний дулаанфизикийн үзүүлэлтийг тодорхойлох Математик загварыг Чой, Окос нар 1986 онд боловсруулсан. Энэ загварыг Хүснэгт II-с харж болно [6].

ОЛОН БҮРЭЛДЭХҮҮНТ БҮТЭЭГДЭХҮҮНИЙ ДУЛААНФИЗИКИЙН ҮЗҮҮЛЭЛТИЙН МАТЕМАТИК ЗАГВАР (-40…150ºС)

2-Р ХҮСНЭГТ

Дулаан физикийн үзүүлэлт	Хүнсний бүтээгдэхүүний бүрэлдэхүүн	Дулааны физикийн үзүүлэлтийн загвар
Дулаан нэвтрүүлэлт, Вт/(м·К)	Уураг	$\lambda = 1.7881 \times 10^{-1} + 1.1958 \times 10^{-3}t - 2.7178 \times 10^{-6}t^2$
	Өөх тос	$\lambda = 1.8071 \times 10^{-1} - 2.7604 \times 10^{-4}t - 1.7749 \times 10^{-7}t^2$
	Нүүрс ус	$\lambda = 2.0141 \times 10^{-1} + 1.3874 \times 10^{-3}t - 4.3312 \times 10^{-6}t^2$
	Эрдэс	$\lambda = 1.8331 \times 10^{-1} + 1.2497 \times 10^{-3}t - 3.1683 \times 10^{-6}t^2$
	Үнс	$\lambda = 3.2962 \times 10^{-1} + 1.4011 \times 10^{-3}t - 2.9069 \times 10^{-6}t^2$
Температур дамжуулалт, м^2/с	Уураг	$\alpha = 6.8714 \times 10^{-8} + 4.7578 \times 10^{-10}t - 1.4646 \times 10^{-12}t^2$
	Өөх тос	$\alpha = 9.8777 \times 10^{-8} - 1.2569 \times 10^{-11}t - 3.8286 \times 10^{-14}t^2$
	Нүүрс ус	$\alpha = 8.0842 \times 10^{-8} + 5.3052 \times 10^{-10}t - 2.3218 \times 10^{-12}t^2$
	Эрдэс	$\alpha = 7.3976 \times 10^{-8} + 5.1902 \times 10^{-10}t - 2.2202 \times 10^{-12}t^2$
	Үнс	$\alpha = 1.2461 \times 10^{-7} + 3.7321 \times 10^{-10}t - 1.2244 \times 10^{-12}t^2$
Нягт, кг/м^3	Уураг	$\rho = 1.3299 \times 10^{3} - 5.1840 \times 10^{-1}t$
	Өөх тос	$\rho = 9.2559 \times 10^{2} - 4.1757 \times 10^{-1}t$

	Нүүрс ус	$\rho = 1.5991 \times 10^3 - 3.1046 \times 10^{-1}t$
	Эрдэс	$\rho = 1.3115 \times 10^3 - 3.6589 \times 10^{-1}t$
	Үнс	$\rho = 2.4238 \times 10^3 - 2.8063 \times 10^{-1}t$
Дулаан багтаамж, кДж/(кг·К)	Уураг	$c_p = 2.0082 + 1.2089 \times 10^{-3}t - 1.3129 \times 10^{-6}t^2$
	Өөх тос	$c_p = 1.9842 + 1.4733 \times 10^{-3}t - 4.8008 \times 10^{-6}t^2$
	Нүүрс ус	$c_p = 1.5488 + 1.9625 \times 10^{-3}t - 5.9399 \times 10^{-6}t^2$
	Эрдэс	$c_p = 1.8459 + 1.8306 \times 10^{-3}t - 4.6509 \times 10^{-6}t^2$
	Үнс	$c_p = 1.0926 + 1.8896 \times 10^{-3}t - 3.6817 \times 10^{-6}t^2$

Махны найрлага дахь усны хэмжээ, хөлдөөлтийн явцад температурын өөрчлөлтөөс хамааран үүсэх мөсөн талстын хэмжээг тодорхойлох нь дулаанфизикийн үзүүлэлтийг тооцох үндэс болно.

Температураас хамаарсан мөсөн талстын хэмжээг Хүснэгт III-т харуулсан загвараар тооцож, үр дүнгээр байгуулсан графикийг Зураг 2-оор харуулсан.

ОЛОН БҮРЭЛДЭХҮҮНТ БҮТЭЭГДЭХҮҮНИЙГ ХӨЛДӨӨХ ҮЕД ҮҮССЭН МӨСӨН ТАЛСТ, УСНЫ ДУЛААНФИЗИКИЙН ҮЗҮҮЛЭЛТИЙН МАТЕМАТИК ЗАГВАР (-40…150ºС)

3-р ХҮСНЭГТ

	Дулаан физикийн үзүүлэлт	**Дулаан физикийн үзүүлэлтийн загвар**
с	Дулаан нэвтрүүлэлт, Вт/(м·К)	$\lambda_w = 5.7109 \times 10^{-1} + 1.7625 \times 10^{-3}t - 6.7036 \times 10^{-6}t^2$
	Температур дамжуулалт, м²/с	$\alpha = 1.3168 \times 10^{-7} + 6.2477 \times 10^{-10}t - 2.4022 \times 10^{-12}t^2$
	Нягт, кг/м³	$\rho_w = 9.9718 \times 10^2 + 3.1439 \times 10^{-3}t - 3.7574 \times 10^{-3}t^2$
	Дулаан багтаамж, кДж/(кг·К)(-40 to 0°C)	$c_w = 4.1289 - 5.3062 \times 10^{-3}t + 9.9516 \times 10^{-4}t^2$
	Дулаан багтаамж, кДж/(кг·К) (of -0 to 150°C)	$c_w = 4.1289 - 9.0864 \times 10^{-5}t + 5.4731 \times 10^{-6}t^2$
ө с	Дулаан нэвтрүүлэлт, Вт/(м·К)	$\lambda_{ice} = 2.2196 - 6.2489 \times 10^{-3}t + 1.0154 \times 10^{-4}t^2$
	Температур дамжуулалт, м²/с	$\alpha = 1.1756 \times 10^{-6} - 6.0833 \times 10^{-9}t + 9.5037 \times 10^{-11}t^2$
	Нягт, кг/м³	$\rho_{ice} = 9.1689 \times 10^2 - 1.3071 \times 10^{-1}t$
	Дулаан багтаамж, кДж/(кг·К)	$c_{ice} = 2.0623 + 6.0769 \times 10^{-3}t$

1. Үхрийн махыг хөлдөөх явцад үүсэх мөсөн талстын хэмжээ

$$M_{ice} = \frac{x_s R T_0^2 \left(t_f - t\right)}{M_s L_0 t_f t} \quad (1)$$

x_s - Хатуу хэсгийн массын хувь

M_S -хатуу биеийн харьцангуй молекул масс, кг/кмол

R -хийн универсал тогтмол=8.314кДж/(кг мол·К)

T_0 -усны хөлдөх температур=273.2К

L_0 -мөсний хайлалтын нуугдмал дулаан=333.6кДж/кг

T_f -криоскопын температур, ºС

t -бүтээгдэхүүний температур, ºС

Хатуу хэсгийн харьцангуй молекул массыг дараах томьёогоор тодорхойлно.

$$M_S = \frac{x_s R T_0^2}{-(x_{wo} - x_b) L_0 t_f} \quad (2)$$

x_{wo} - бүтээгдэхүүн дэх усны хэмжээ, %

x_b - бүтээгдэхүүний холбоос усны хэмжээ, %

Холбоос ус нь бүтээгдэхүүний найрлагад байх давс бусад нэгдлийг шингээсэн байдаг тул 5...13% хөлдөхгүй үлддэг.

Холбоос усны массын хувийг дараах томьёогоор тодорхойлно.

$$x_b = 0.4x_p \quad (3)$$

x_p - бүтээгдэхүүний уургийн массын хэмжээ, %

Дээрх томьёог ашиглан мөсөн талстын эзлэх хувийг хялбархан томьёолж болно.

$$x_{ice} = (x_{wo} - x_b)(1 - \frac{t_f}{t}) \quad (4)$$

Тэгшитгэл (4) нь хөлдөж эхлэх цэгийн ойролцоох температурт мөсний фракцыг дутуу тооцоолж, бага температурт мөсний фракцын хэмжээг өндрөөр тооцоолдог тул Tchigeov (1979) онд мөсний фракцыг тооцоолох дараах эмпирик хамаарлыг ашигласан.

$$x_{ice} = \frac{1.105x_{wo}}{1 + \frac{0.7138}{In(t_f - t + 1)}} \quad (5)$$

Fikiin (1996) онд дээрх тэгшитгэл нь олон төрлийн хүнсний бүтээгдэхүүний мөсний талстын хэмжээг өндөр нарийвчлалтайгаар тооцоолж болдгийг баталсан байдаг.

Монгол бэлчээрийн үхрийн махны хувьд IIR (International Institute of Refrigeration)–ээс зөвлөмж болгож буй загвараар гүйцэтгэхдээ дараах үндсэн үзүүлэлтүүдийг тооцсон[6].

$x_{wo} = 0.7547$ $x_f = 0.215$

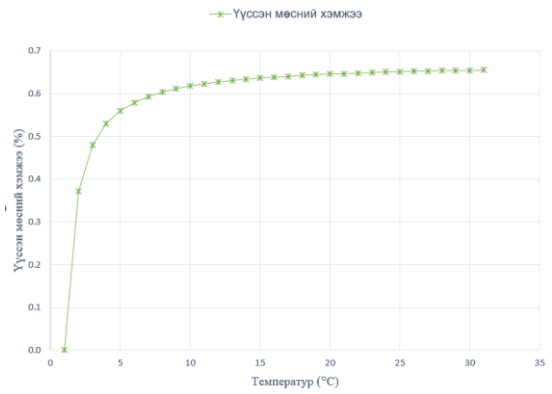
$x_p = 0.2035$ $x_a = 0.116$

Бүтээгдэхүүний хатуу бүрэлдэхүүний эзлэх хувь,

$$x_s = 1 - x_{wo} = 1 - 0.7547 = 0.24$$

Ус холбох чадвар,

$$x_b = 0.4x_p = 0.4 \cdot 0.2035 = 0.08$$



2-р зураг. Үхрийн маханд үүсэх мөсөн талст, температурын хамаарал

Chang, Tao нар бүтээгдэхүүний дулаан агуулалтын залруулгын эмпирик хамаарал болон крископын температурыг тооцоолох хамаарлыг гаргасан ба энэ нь усны концентрацаас хамааралтай байдаг[8].

Мах, махан бүтээгдэхүүн:

$$T_f = 271.18 + 1.47x_{wo} \quad (6)$$

Жимс, хүнсний ногоо:

$$T_f = 287.56 - 49.19x_{wo} + 37.07x_{wo}^2 \quad (7)$$

Жимсний шүүс:

$$T_f = 120.47 + 327.35x_{wo} - 176.49x_{wo}^2 \quad (8)$$

Бүтээгдэхүүний температурыг криоскопын температураас доош багасгахад найрлага дахь шингэн хөлдөж эхэлдэг. Температур багасахын хирээр усны молекулын хөдөлгөөн удааширч хатуу биетийн бүтэцтэй илүү төстэй болсоор ±0ºC зогсонги байдалд орж ус шингэн төлөвөөс хатуу төлөвт шилждэг.

Шингэн бодисын хөлдөж эхлэх температурыг тухайн бүтээгдэхүүний криоскопын температур гэдэг. Коллоид уусмал дахь усны молекул бусад бодисын молекултай хэрхэн холбогдсон байдлаас шалтгаалан бүтээгдэхүүнүүдийн криоскопын температур харилцан адилгүй байдаг.

Бэлчээрийн Монгол үхрийн махны криоскопын температурыг $t_{кр} = -0.7 \div -1.2°C$ утгаас шууд $t_{кр} = -1.2°C$ -аар тооцдог байсан[1]. Харин дээрх аргачлалаар тооцоход :

$T_f = 271.18 + 1.47x_{wo} = 272.28K$ буюу $T_f = -0.92°C$ байна.

Түүнчлэн, бусад дулаанфизикийн үзүүлэлтийг мөн адил өгөгдсөн утгаас шууд тооцоонд авч ашигладаг байсан нь орчин үеийн хөргөлтийн технологийн стандарт, шаардлагыг хангахгүй байна.

ХҮНСНИЙ БҮТЭЭГДЭХҮҮНИЙ ҮНДСЭН НАЙРЛАГЫН ДУЛААН БАГТААМЖ

4-Р ХҮСНЭГТ

Найрлага	**Хувийн дулаан багтаамж, ккал/кг,⁰С**
Ус	1,0
Мөс	0,5
Үнс	0,24
Өөх тос	0,42
Уураг	0,37
Нүүрс ус	0,34

2. Дулаан нэвтрүүлэлт

1966 онд Kopelman дулааны урсгалын чиглэлээс хамаардаг анизотроп, хоёр бүрэлдэхүүн хэсэгтэй системийн хувьд, тухайлбал, ширхэгтэй хүнсний бүтээгдэхүүний хувьд дулаан нэвтрүүлэлтийг тодорхойлох 2 тэгшитгэлийг боловсруулсан. Хүнсний ширхэгтэй зэрэгцээ дулааны урсгалтай үед дулаан дамжуулалтын коэффициентыг дараах байдлаар тодорхойлно.

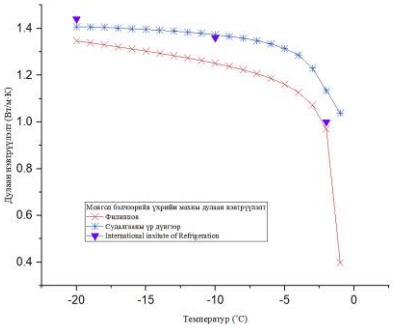
$$\lambda = \lambda_c \left[1 - N^2 \left(1 - \frac{\lambda_d}{\lambda_c} \right) \right] \quad (9)$$

Харин дулааны урсгал нь бүтээгдэхүүний ширхэгтэй перпендикуляр бол,

$$\lambda = \lambda_c \left[\frac{1-P}{1-P(1-N)} \right] \quad (10)$$

Бэлчээрийн монгол үхрийн махны хөлдөөлтийн үеийн дулаан нэвтрүүлэлтийг ОХУ-ын эрдэмтдийн

болон IIR-ийн аргачлалаар тооцсон тооцоог өөрийн судалгааны үр дүнтэй харьцуулсан байдлаар зураг 3-д үзүүлэв.



3-р зураг. Үхрийн махыг хөлдөөх үеийн дулаан нэвтрүүлэлт, температурын хамаарал

3. EHTD (Equivalent Heat Transfer Dimensionality)

2017 онд Zhao, Takar нарын гаргасан эмпирик тэгшитгэлээр махны хөлдөх хугацааг мөсний хэмжээ, ус холбох чадвар, дулаан багтаамж, нягт гэх мэт дулааны хэмжигдэхүүнүүдээс хамааруулан үнэлдэг [12]. Үүнээс гадна CFD шингэний динамикийн тооцооллыг ашиглан 3 хэмжээст орон дахь дулааны диффузийн тэгшитгэлийг бодох загвар байна. Энэ загвар нь хөлдөлтийн эхний температур, конвектив дулаан дамжуулалтын коэффициентийн дифференциал тэгшитгэлийг боддог тул тооцоо ихтэй, технологийн процессийн оновчлолыг хийхэд тохиромжгүй байдаг [11].

Дээрх хоёр аргын аль алиных нь онцлогийг ашигласан Эмпирик тэгшитгэл нь гол төлөв шинж чанарын үнэлгээнд (материалын дулааны шинж, мөсний хувь, дулаан дамжуулалтын коэффициент гэх мэт) ашиглагддаг бол дулааны диффузийн тэгшитгэл нь бүтээгдэхүүний доторх температурын өөрчлөлтийг тодорхойлох боломжтой. Тиймээс, энэ судалгаанд EHTD (Equivalent Heat Transfer Dimensionality) –буюу дараах дискрет тэгшитгэлийг ашиглах нь тохиромжтой байна.

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left[k\frac{\partial T}{\partial x}\right]E_f \qquad (13)$$

t -хугацаа, секунт

x -координат

эдгээр үзүүлэлтүүдийг оновчтой тодорхойлж шаардлагад нийцсэн хүнс бэлтгэх нь чухал юм.

Монгол бэлчээрийн үхрийн махны криоскопын температур $t_{кр}$=-1.2ºC гэж шууд авч тооцоонд хэрэглэдэг байсныг $t_{кр}$=-0,92ºC болохыг тогтоосон.

Монгол бэлчээрийн үхрийн махны дулаанфизикийн хэмжигдэхүүнүүд- $c, \lambda, a, t_{кр}, H$ утгыг тодорхойлсон.

ρ -нягт, кг/м^3

λ -дулаан нэвтрүүлэлт, Вт/мК

c_p -хувийн дулаан багтаамж, кДж/кгК

E_f - хэлбэрийн коэффициент.

$$\frac{\partial T(i)}{\partial t} = \frac{\lambda(i)\left[T(i-1)-2T(i)+T(i+1)\right]}{\rho(i)c_p(i)(\Delta x)^2}E_f \qquad (14)$$

i -орон зайн дискретийн зангилааны тоо. Энэ тоо их байх тусам нарийвчлал өндөр болно.

Анхны ба хязгаарын нөхцөл,

$$\begin{aligned} &T = T_0 && -L \le x \le +L && t = 0 \\ &-\lambda(T)\frac{\partial T}{\partial x} = 0 && x = 0 && t \ge 0 \\ &-\lambda(T)\frac{\partial T}{\partial x} = h(T - T_a) && x = L && t \ge 0 \end{aligned} \qquad (15)$$

L -бүтээгдэхүүний гадаргуу болон төв цэгийн хоорондын зай

T_a -хөргөх орчны температур

h -конвектив дулаан дамжуулалтын коэффициент.

Энэ тэгшитгэлийг цаашдаа эрчим хүчний зарцуулалтыг тооцох, эдийн засгийн үнэлгээ хийхэд ашиглахад тохиромжтой.

Дээрх аргачлалаар тооцсон тооцооны үр дүнг дараах хүснэгтээр харуулав.

ХҮНСНИЙ БҮТЭЭГДЭХҮҮНИЙ ҮНДСЭН НАЙРЛАГЫН ДУЛААН БАГТААМЖ

5-р ХҮСНЭГТ

Хэрэглэсэн аргууд	**Дулаанфизикийн үзүүлэлтүүд**	**Утга**
Choi&Okos (1986)	Дулаан багтаамж, кДж/(кг·К) (-2÷-20ºС)	3.6084÷3.6055
Copelman (1966)	Дулаан нэвтрүүлэлт, Вт/(м·К) (-2÷-20ºС)	0.96÷1.42

II. ДҮГНЭЛТ

Дэлхийн хүн амын өсөлттэй холбоотойгоор хүнсний аюулгүй байдал, эрүүл ахуйн асуудал гол хүчин зүйлс болсон. Иймд тэдгээрийг чанартай, шим тэжээлтэй хүнсээр хангах, хадгалалт, түгээлтэд нийлүүлж хэрэглэгчид хүргэх шаардлагатай. Иймд

Эдгээр үзүүлэлтүүдийг оновчтой тодорхойлсноор хөргөлтийн төхөөрөмжийн ачааллыг 22% бууруулж, өөрийн өртөгийг бууруулах боломжтой болно (өртөгийн өөрчлөлт бүтээгдэхүүний үнийн хэлбэлзлээс хамааралтай).

Монгол үхэр нь уур амьсгал, цаг уурын байдлаас хамааралтай, цогцос жижиг, махны гарц багатай боловч 100гр маханд агуулагдах шимт чанар бусад орнуудын махны чиглэлээр үржүүлсэн үхрийн

махтай харьцуулахад өндөр, төгс уургийн эх үүсгүүр болдог, амт сайтай.

Бэлчээрийн монгол малын махны дулаанфизикийн үзүүлэлтийг тодорхойлсноор мэдээллийн чухал санг бүрдүүлж, улам бүр өсөн нэмэгдэж байгаа Дэлхийн зах зээлд экспортлох өргөн боломж бүрдэх юм.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] Choe, J.-H., Stuart, A., Kim, Y. H. B. (2016). Effect of different aging temperatures prior to freezing on meat quality attributes of frozen/thawed lamb loins. Meat Science, 116, 158–164. doi: 10.1016/j.meatsci.2016.02.014

[2] Acre, J.A. and V.E. Sweat. 1980. Survey of published heat transfer coefficients encountered in food processes. ASHRAE Transactions 86(2):23-260

[3] Filippov, V. I., Stepanov, A. V. (2015). Ratsional'naya tochnost' opredelenya teplofizicheskikh kharakteristik pishhevykh produktov v raschetakh tekhnologicheskikh paramerov kholodil'noy obrabotki. Nauchniy zhurnal NIU ITMO, 2, 125–132.

[4] Б.Энхтуяа, "Бэлчээрийн монгол малын биохими-технологийн судалгаа системийн шинж чанар" шинжлэх ухааны докторын зэрэг горилсон диссертац. Улаанбаатар,2009 он.

[5] IIR (1986). Recommendations for the Processing and Handling of Frozen Foods. Paris: International Institute of Refrigeration, p. 419.

[6] Filippov, V. I., Stepanov, A. V. (2015). Ratsional'naya tochnost' opredeleiya teplofizicheskikh kharakteristik pishhevykh produktov v raschetak tekhnologicheskikh paramerov kholodil'noy obrabotki. Nauchni zhurnal NIU ITMO, 2, 125–132.

[7] Choe, J.-H., Stuart, A., Kim, Y. H. B. (2016). Effect of different aging temperatres prior to freezing on meat quality attributes of frozen/thawed lamb loins. Meat Science, 116, 158–164. doi: 10.1016/j.meatsci.2016.02.014

[8] 10Marina Yancheva, Olena Dromenko, Vladimir Potapov, Olga Grinchenko, Tetiana Zhelieva ., "STUDY OF INFLUENCE OF FREEZING-DEFROSTING ON THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF MEAT SYSTEMS", 2018), «EUREKA: Life Sciences» Number 1

[9] Yong Hee Choi,. 'Effects of temperature and composition on the Thermal conductivity and Thermal diffusivity of some food components' Food Science techlology. Vol. 18. 5. 1986

[10] R.A. Lawrie, "Meat Science,6th edition" UK,1998.

[11] Cleland, A.C. 1990. Food refrigeration processes: Analysis, design and simulation.Elsevier Science, London.

[12] Cleland, A.C. and R.L. Earle. 1977. A comparison of analytical and numericalmethods of predicting the freezing times of foods. Journal of FoodScience 42(5):1390-1395

[13] М.Оюун-эрдэнэ, Монгол бэлчээрийн малын махны хүйтний боловсруулалтын судалгаа, Улаанбаатар, 2023.

ЭМНЭЛГИЙН БАРИЛГЫН ДОТОР АГААРЫН ЧАНАРЫГ САЙЖРУУЛАХ БОЛОМЖИЙН СУДАЛГАА

С.Төгөлдөр[1], Б.Мөнх-Эрдэнэ[2], М.Оюун-эрдэнэ[3]

Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Дулааны инженерийн салбар

Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: tuguldursuhbat20170512@gmail.com

Хураангуй: **Барилгын доторх бичил орчинд тухайн байгууламжийн байрлаж буй газар нутгийн цаг уурын онцлог, байршлын бүс, улирал, технологийн процесс, процессын төрөл, ашигладаг тоног төхөөрөмжийн тоо, төрөл, ажлын байрны хэмжээ, ажилчдын тоо, халаалт, агааржуулалтын нөхцөл нөлөөлдөг. БД 31-115-12-ээр "Эмнэлгийн барилга"-д тавигдах төлөвлөлтийн, технологийн, инженерийн хангамжийн, эрүүл ахуйн ба эргономикийн шаардлагыг тогтоож өгсөн[1]. Гэвч, Монгол улсын томоохон төв эмнэлгүүд 1970-д оноос баригдаж эхэлсэн бөгөөд өргөтгөл барих, засварлах байдлаар үйл ажиллагаагаа өргөжүүлсээр өнөөг хүрсэн. Үүнтэй холбоотой эмнэлгийн барилга байгууламжуудын агааржуулалтын систем нь хэт хуучирсан техник, технологийн шаардлага хангаагүйгээс дотор агаарын чанартай холбоотой асуудлууд их байна.**

Эмнэлгийн барилга нь ачаалал өндөртэй, өрөөнүүдийн зориулалт янз бүр байдгаас тавлаг байдлыг хангах бичил орчинд тавигдах шаардлагууд ч өөр өөр байдаг онцлогтой. Дэлхий нийтэд хэрэглэгч, бичил орчны хоорондын харилцан үйлчлэлийг мэдрэх, энэ мэдээллийг боловсруулан хариу үйлдэл үзүүлэх төвлөрсөн болон бие даасан "intelligent HVAC" системийг санал болгож байна[2]. Харин "smart " буюу ухаалаг АКС нь эмнэлэг байрлаж буй орон нутгийн уур амьсгал, эмнэлгийн байгууламжийн төрлийг харгалзан эрчим хүч хэмнэх, аюулгүй байдлыг нэмэгдүүлэхэд анхаардаг.

Түлхүүр үг: бичил орчин, агааржуулалт, кондиционерын систем, формальдегид, агаарын шүүлтүүр

I. УДИРТГАЛ

Агааржуулалт, кондиционерын систем (HVAC) мөн (HVAC&R) нь битүү байгууламж дах агаарын параметрийг (температур, харьцангуй чийгшил, агаарын хөдөлгөөний хурд) хүмүүсийн тавлаг байх, үйлдвэрлэлийн технологийн процесс явагдах, тоног төхөөрөмжийн хэвийн ажиллах, урлагийн үнэт зүйлсийг хадгалах нөхцөлийг хангахуйц цаг уурын оновчтой утганд автоматаар барих зориулалттай. АКС нь цаг уурын системийн элементүүдийн нэг бөгөөд ариун цэвэр-эрүүл ахуйн, технологийн, экологийн, барилга угсралтын, архитектурын, ёс зүйн, ашиглалтын, аюулгүй найдвартай ажиллагааны, энергийн үр ашгийн, эдийн засгийн гэх мэт шаардлагууд тавигддаг. Эмнэлгийн барилгын АКС нь:

- Цэвэр, чанартай агаараар хангах
- Өвчтөн, үйлчлүүлэгч, эмч, ажиллагсдын ажиллах, үйлчлүүлэх таатай нөхцөлийг хангахаас гадна, эдгэрэлт нөхөн сэргээлтийн хугацаанд сайнаар нөлөөлдөг байх ёстой.
- Агаар дуслын замаар халдах халдвар, вирусийн тархалтыг бууруулдаг, зогсоодог технологитой байх
- Стрессийг бууруулж, анхаарал төвлөрлийг сайжруулдаг байх
- Дуу чимээ маш багатай ажилладаг байх ёстой
- Температур-t, харьцангуй чийгшил-φ, агаарын хөдөлгөөний хурд – ω-ны оновчтой утгыг хангадаг байх ёстой.

Агаарын температур +20°C ...+24°C, харьцангуй чийгшил 40-60%, нүүрстөрөгчийн хийн агууламж 0,03%-иас ихгүй, механик болон химийн найрлагын хувьд бохирдоогүй байх ёстой.

Судалгааны объектоор 1961 онд "Цацраг туяа" нэртэй байгуулагдсан Хавдар судлалын үндэсний төвийн барилгыг сонгосон. Тус эмнэлгийн байрлах орны гадна агаарын чанарын үзүүлэлтийг зураг 1-д харуулав.

II. СУДАЛГААНЫ ХЭСЭГ

1-р зураг. Улаанбаатар хот агаарын чанарын зураг[4]

(ХСҮТ-ийн байршлын агаарын чанарын үзүүлэлт өнөөдрийн байдлаар)

АГААРЫН ЧАНАРЫН ИНДЕКС

1-Р ХҮСНЭГТ

Цэвэр (0-50)	Хүний эрүүл мэндэд сөрөг нөлөөгүй.
Хэвийн (51-100)	Агаарын чанарын стандартын шаардлага хангана. Гэхдээ зарим хэт мэдрэг хүмүүст амьсгалын замын өвчний шинж тэмдэг илрэх магадлалтай.
Бага бохирдолтой	Хэт мэдрэг хүмүүсийн эрүүл мэндэд сөрөг нөлөөлөл илэрнэ. Зүрх судас, амьсгалын

(101-200)	замын архаг өвчтэй, ялангуяа гуурсан хоолойн багтраа өвчтэй хүмүүс нөлөөлөлд илүү өртөнө.
Бохирдолтой (201-300)	Хүний эрүүл мэндэд сөрөг нөлөөл илэрч эхэлнэ. Хэт мэдрэг хүмүүсийн эрүүл мэндэд сөрөг нөлөөлөл хүндээр илэрнэ.
Их бохирдолтой (301-400)	Удаан хугацаагаар гадаа байхад хүний эрүүл мэндэд мэдэгдэхүйц сөрөг нөлөөлөл үзүүлж болно.
Маш их бохирдолтой (401-500)	Хүний эрүүл мэндэд сөрөг нөлөөлтэй.

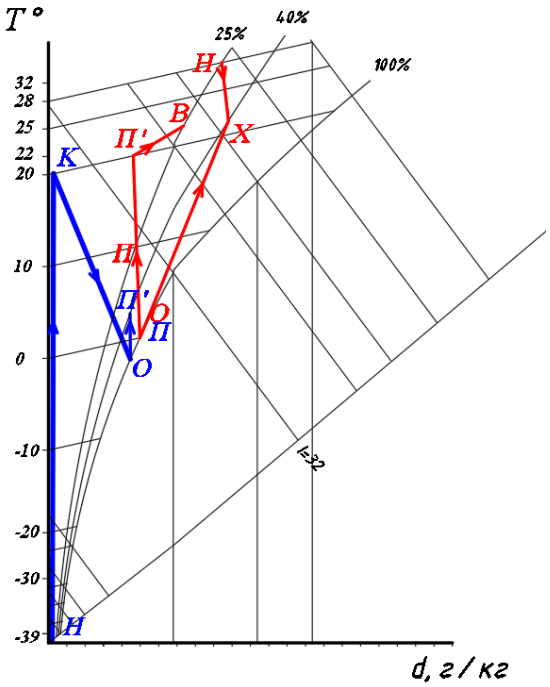
2-р зураг. Улаанбаатар хотын агаар дахь 2.5 микроноос бага хэмжээтэй тоосны 2011-2019 оны харгалзах саруудын дундаж, хамгийн их, хүлцэх агууламж (мг/м^3)[4]

Сүүлийн 9 жилийн буюу 2011-2019 оны PM2.5 тоосонцрын дундаж агууламжийг харгалзах саруудын дунджаар харьцуулахад тоосонцрын агууламж 10-р сараас эхлэн дараа оны 3 дугаар сар хүртэл хүлцэх хэмжээнээс илүү байна. Эдгээр саруудад Монгол Улсын стандартын хүлцэх агууламжаас PM2.5 тоосонцрын дундаж агууламж 0.6...3.7 дахин их байна. Хамгийн их агууламж нь 1-р сард 0.34 мг/м3 байгаа нь Монгол улсын стандартаас 7 дахин их, ДЭМБ-ын зөвлөмжөөс 14 дахин их байгааг 3-р зурашт харуулав.

3-р зураг. PM10 тоосонцрын агууламж, 2010-2019 оны жилийн дундаж, хамгийн их, хүлцэх агууламж (мг/м^3) [4]

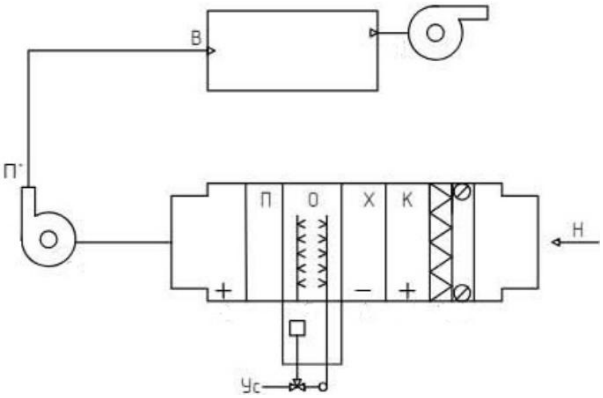
2019 онд PM10 тоосонцрын хамгийн их агууламж 0.229 мг/м3 болж, өмнөх оноос 0.062 мг/м3 (78.8%) буурсан ч Монгол Улсын стандарт дахь жилийн дундаж хүлцэх агууламжаас 4.6 дахин их байна.

Улаанбаатар хотын нөхцөлд Гадна агаарт агуулагдах утаа, тоосны агууламж их байгаа нөхцөлд ХСҮТ эмнэлэгт сэлгэх шаардлагатай гадна агаарын чанарыг хангахын тулд агаарын боловсруулалтыг кондиционерын төхөөрөмжөөр хийж бүрэн боловсруулалтад оруулах шаардлагатай байдаг тул тохирсон кондиционерын блок сонгохын тулд i-d диаграмм дээр өвөл ба зуны улирлын агаарын боловсруулалтыг зураг 4-т харуулснаар дүрсэлсэн.



4-р зураг. ХСҮТ-ийн агаарын боловсруулалтын ID-диаграмм

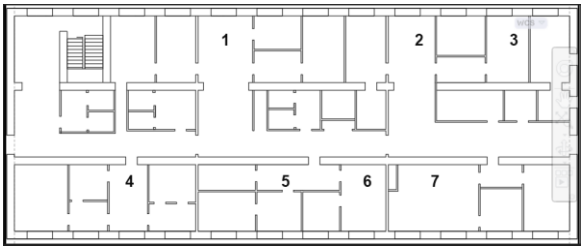
Энэ боловсруулалтыг хийхэд шаардлагатай төвлөрсөн кондиционерын блокын технологийн схемийг i-d диаграммтай уялдуулан төлөвлөсөн (зураг 5).



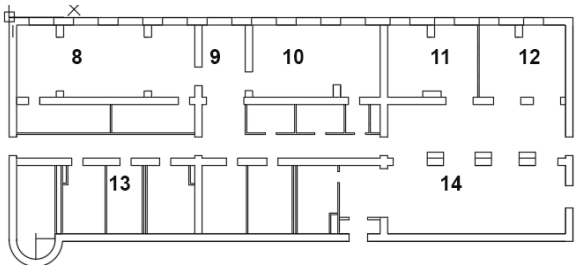
5-р зураг. ХСҮТ эмнэлгийн барилгад суурилуулах шаардлагатай кондиционерын блокын технологийн схем

ХСҮТ эмнэлэг нь жилд дунджаар 100 мянга гаруй хүнд тусламж үйлчилгээ үзүүлж байна. Өдөрт 2000 гаруй хүн орж гардаг. Үүнээс 1000 орчим нь эмчтэй харьцаж, кабинетаар үйлчлүүлдэг байна.

Байнгын өндөр ачаалалтай ажилладаг, өвчтөнүүдийн бие, сэтгэл зүйн байдлаас шалтгаалан хүний харгалзаатай явдаг, дархлаа сул зэрэг шалтгаануудыг үндэслэн янз бүрийн ачаалалтай 6-р зурагт тэмдэглэсэн нийт 14 цэгт агаарын чанарын хэмжилт хийсэн.



а)



б)

6-р зураг. ХСҮТ-ийн А, Б блокийн план зураг дээрх хэмжилтийн цэгүүд

ХСҮТ эмнэлгийн агаарын чанарыг онолын хувьд тооцоо хийн үзэхэд хорт хий буюу CO2 хэмжээ 34888 л/ц байсан. Харин бодит байдалд хийсэн хэмжилтээр HCHO, TVOC, PM2.5, PM10 гэх бодис нь хүний эрүүл мэндэд сөргөөр нөлөөлөхөөр хэмжээний өндөр үзүүлэлттэй байгааг тогтоосон. Тус бодисууд нь бага хэмжээгээр агаарт байх нь хор хөнөөлгүй боловч зөвшөөрөгдөх хэмжээнээс хэт их байснаас агаарын чанар эрүүл мэндэд ээлгүй буюу “unhealthy” байгааг харж болохоор байна.

2025ОНЫ 1-2 САРЫН ХУГАЦААНД ХСҮТ ЭМНЭЛГИЙН АГААРЫН ЧАНАРТ ХИЙСЭН СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН

2-Р ХҮСНЭГТ

№	Нэр	t	HCHO	TVOC	PM2.5	PM10
1	Хүлээлгийн танхим	21	0.086	0.024	15	16
2	Эмэгтэй чүүдийн үзлэг	22	0.204	0.212	21	23
3	Мэс засал үзлэг	22	0.315	0.219	15	16
4	Заал	23	0.336	0.199	13	14
5	Хими эмчилгээ	23	0.379	0.45	36	40
6	Оношилгоо	20	0.287	0.19	54	60
7	Мэс засал-1	23	0.203	0.14	27	30
8	Мэс засал клиник	24	0.297	0.194	29	32
9	Туяа эмчилгээ	20	1.23	7.468	48	53
10	Хөхний үзлэг	21	0.162	0.182	11	12
11	Эмэгтэйчүүд2	23	0.464	0.45	17	19
12	Өргөтгөл үүдний танхим	24	0.297	0.134	13	14
13	Сорьц өгөх хэсэг	23	0.092	0.071	4	4
14	Элэг цөс	23	0.144	0.15	10	11

Хэмжилтээр тодорхойлогдсон формальдегидээс бусад бохирдлуудыг зураг 5-д төлөвлөсөн кондиционерын төхөөрөмжөөр цэвэршүүлэх боломжтой. Формальдегидыг цэвэршүүлэх аргачлалыг тодорхойлохын тулд шинж чанар, хүний биед үзүүлэх хоруу чанарыг авч үзсэн(хүснэгт3)

ФОРМАЛЬДЕГИДЫГ ЦЭВЭРШҮҮЛЭХ АРГАЧЛАЛЫГ ТОДОРХОЙЛОХ ШИНЖ ЧАНАР, ХҮНИЙ БИЕД ҮЗҮҮЛЭХ ХОРУУ ЧАНАР

3-Р ХҮСНЭГТ

Үзүүлэлт	**Мэдээлэл**
Химийн нэр	Формальдегид
Химийн томьёо	HCHO (CH_2O гэж бичигддэг)
Молекул масс,	30.03 g/mol
Физик төлөв	Өрөөний температурт өнгөгүй хий
Аюултай шинж чанар	Хортой, хорт хавдар үүсгэх эрсдэлтэй, амьсгалын замыг цочроодог
Хэрэглээ	Барилгын материал, наалдамхай бодис, ариутгагч, лабораторийн урвалж
Эх үүсвэр	Модон хавтан, будаг, лак, тамхины утаа, машины утаа
Нөлөөлөл	Амьсгалын замын цочрол, харшил, толгой өвдөх, урт хугацаанд хорт хавдар үүсгэх эрсдэлтэй
Үнэр	Шавжны хор шиг хурц үнэртэй
Уусах чанар	Ус, спирт, эфирт сайн уусдаг
Стандарт (GB/T 18883-2002)	100 мг/м^3

HCHO-ийн зөвшөөрөгдсөн хэмжээнээс 2...4.5 дахин байна. Өрөөний зориулалт шаардлагаас хамааран зарим өрөөнд 12 дахин ихэссэн тохиолдол байна. Эдгээр зөвшөөрөгдсөн хэмжээнээс их хэмжээний HCHO агуулагдсан нөхцөлд урт хугацааны хордлого, амьсгалын замын асуудал, хорт хавдар үүсэх эрсдэл үүсэж болно.

1. Богино хугацааны нөлөөлөл (Шууд хоруу чанар)

ФОРМАЛЬДЕГИДЫН ӨНДӨР АГУУЛАМЖТАЙ АГААРААР АМЬСГАЛАХ ҮЕД ДАРААХ ШИНЖ ТЭМДГҮҮД

4-Р ХҮСНЭГТ

Формальдегидаар амьсгалах үед	**Шинж тэмдгүүд**
Амьсгалын замын цочрол	Хамар, хоолой хорсох, амьсгалахад хүндрэлтэй болох
Нүдний цочрол	Нулимс гоожих, улайх, загатнах
Арьсны цочрол	Харшил үүсгэх, загатнах, тууралт гарах
Толгой өвдөх	Химийн үнэрт мэдрэмтгий хүмүүсийн хувьд толгой өвдөх, дотор муухайрах
Ядаргаа, сульдалт	Хэт өндөр тунтай орчинд байвал ядрах, ажлын бүтээмж буурах

2. Урт хугацааны нөлөөлөл (Арьс, уушги, мэдрэлийн тогтолцоонд үзүүлэх хортой нөлөө)

Хэрэв формальдегидэд удаан хугацаанд өртвөл дараах эрүүл мэндийн асуудлууд үүсэж болно:

ФОРМАЛЬДЕГИДЭД УДААН ХУГАЦААНД ӨРТВӨЛ ҮҮСЭХ ЭРҮҮЛ МЭНДИЙН АСУУДЛУУД

5-Р ХҮСНЭГТ

Формальдегидаар амьсгалах үед	**Шинж тэмдгүүд**
Арьсны үрэвсэл, харшил	Давтан өртөх үед арьсны харшил (экзем) үүсгэх
Амьсгалын замын архаг өвчин	Уушгины архаг үрэвсэл, астма үүсгэх эрсдэлтэй
Дархлаа сулрах	Бие махбодын эсэргүүцэл буурч, харшлын урвал нэмэгдэх

Хорт хавдар үүсгэх эрсдэл	Дэлхийн Эрүүл Мэндийн Байгууллага (ДЭМБ) формальдегидийг хүн дээр хорт хавдар үүсгэгч (Group 1 Carcinogen) бодис гэж ангилсан.Урт хугацаанд өндөр тунгаар амьсгалбал хамрын хөндий, уушгины хорт хавдар үүсэх магадлалтай.
Мэдрэлийн тогтолцоонд нөлөөлөх	Ой санамж муудах, анхаарал төвлөрөлт буурах, сэтгэл санааны тогтворгүй байдал үүсгэх.

Мөн бусад хийнүүдийн шинж чанар, хүний биед үзүүлэх хоруу чанарыг хүснэгт 6 ба хүснэгт 7-оос харж болно.

PM10 ХИЙН ШИНЖ ЧАНАР, ХҮНИЙ БИЕД ҮЗҮҮЛЭХ ХОРУУ ЧАНАР

6-Р ХҮСНЭГТ

Нэр	PM10 (Particulate Matter 10)
Тодорхойлолт	Диаметр нь 10 микрометр буюу түүнээс бага хэмжээтэй тоосонцор
Эх үүсвэрүүд	PM10 тоосонцор нь хүний үйл ажиллагаа болон байгаль орчноос гаралтай байдаг.
Хүний биед үзүүлэх нөлөө,	Амьсгалын замын үрэвсэл, астма, уушгины өвчин, зүрх судасны асуудал үүсгэж болзошгүй
ДЭМБ-ын зөвлөмж	24 цагийн дундаж агууламж 50 µg/m³-ээс хэтрэхгүй байх 100 µg/m³-ээс дээш бол хүний эрүүл мэндэд аюултай гэж үздэг.

PM10 тоосонцор нь хамрын салст, амьсгалын дээд замд орж хуримтлагдах бөгөөд дараах асуудлуудыг үүсгэж болзошгүй:

• Хамар, хоолой, гуурсан хоолойн цочрол
•Ханиалгах, амьсгал давчдах
•Харшил, багтраа (астма)
•Уушгины үрэвсэл, бронхит
•Зүрх судасны өвчин (урт хугацаанд өртөх үед)

PM2.5 ХИЙН ШИНЖ ЧАНАР, ХҮНИЙ БИЕД ҮЗҮҮЛЭХ ХОРУУ ЧАНАР

7-Р ХҮСНЭГТ

Үзүүлэлт	Мэдээлэл
Нэр	PM2.5 (Particulate Matter 2.5)
Тодорхойлолт	Диаметр нь 2.5 микрометр буюу түүнээс бага хэмжээтэй нарийн ширхэгт тоосонцор
Хүний биед үзүүлэх нөлөө	Уушги болон цусны эргэлтийн системд нэвтэрч, зүрх судасны өвчин, уушгины үрэвсэл, астма, хорт хавдар үүсгэх эрсдэлтэй
ДЭМБ-ын зөвлөмж	24 цагийн дундаж агууламж 15 мг/м³-ээс хэтрэхгүй байх 75 мг/м³-ээс дээш бол хүний эрүүл мэндэд ноцтой аюултай гэж үздэг.

Энэ нь хүний үсний ширхгээс 30 дахин жижиг тул уушгинд гүн нэвтэрч, цусны эргэлтээр дамжин эрүүл мэндэд сөрөг нөлөө үзүүлэх аюултай.

PM2.5 нь уушги болон зүрх судасны тогтолцоонд хамгийн их нөлөөтэй. Богино болон урт хугацаанд дараах сөрөг үр дагавар үүсгэж болзошгүй:

- Амьсгалын замын өвчлөл (астма, гуурсан хоолойн үрэвсэл, уушгины үрэвсэл)
- Зүрх судасны өвчин (цусны даралт ихсэх, зүрхний шигдээс)
- Дархлаа сулрах, халдвар авах эрсдэл нэмэгдэх
- Нүд, хамар, хоолой цочрох
- Урт хугацаандаа хорт хавдар үүсэх магадлал нэмэгдэх

TVOC ХИЙН ШИНЖ ЧАНАР, ХҮНИЙ БИЕД ҮЗҮҮЛЭХ ХОРУУ ЧАНАР

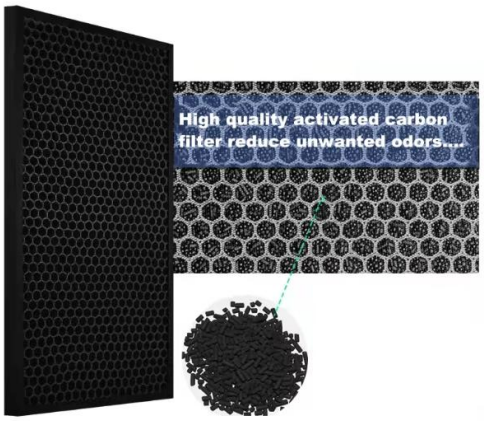
8-Р ХҮСНЭГТ

Үзүүлэлт,	Мэдээлэл
Нэр	TVOC (Total Volatile Organic Compounds)
Тодорхойлолт	Агаарт дэгддэг органик нэгдлүүдийн нийт хэмжээ
Хүний биед үзүүлэх нөлөө	Толгой өвдөх, дотор муухайрах, амьсгалын замын цочрол, мэдрэлийн системд нөлөөлөх, урт хугацаандаа хорт хавдар үүсгэх эрсдэлтэй
Хэвийн хэмжээ	0.3 мг/м³-ээс бага (ДЭМБ-ын зөвлөмж) ³ (0.5 ppm)-ээс дээш хэмжээтэй байвал эрүүл мэндэд сөрөг нөлөөтэй гэж үздэг.

TVOC-ийн өндөр агууламж нь богино болон урт хугацаанд дараах сөрөг үр дагаварт хүргэж болзошгүй:

- Толгой өвдөх, дотор муухайрах
- Нүд, хамар, хоолойн цочрол
- Амьсгалын замын асуудал (астма, харшил)
- Дархлаа сулрах
- Зарим төрлийн хорт хавдар үүсгэх эрсдэл.

Формальдегидийг агаар шүүгчээр шүүж бууруулахын тулд тусгай технологиуд хэрэгтэй. Энгийн тоосонцрын шүүлтүүрүүд (HEPA гэх мэт) HCHO-г үр дүнтэй шүүж чаддаггүй. Доорх төрлийн шүүлтүүрүүд нь формальдегидыг саармагжуулах, задлах зориулалттай байдаг.



7-р зураг. Идэвхжүүлсэн нүүрстөрөгчийн (Activated Carbon) шүүлтүүр

1. Идэвхжүүлсэн нүүрстөрөгчийн (Activated Carbon) шүүлтүүр

Үйл ажиллагаа – Идэвхжүүлсэн нүүрсэн дээрх бичил нүх сүвүүд нь формальдегидийн молекулуудыг шингээж, агаарт тархахаас сэргийлнэ.

Давуу тал – Хамгийн түгээмэл, үр дүнтэй арга бөгөөд HCHO, VOC (дэгдэмхий органик нэгдлүүд), эвгүй үнэрийг шүүнэ.Сул тал – Нүүрсэн шүүлтүүр нь тодорхой хугацааны дараа ханаж, үр дүн нь буурдаг тул тогтмол солих шаардлагатай.

2. Фотокаталитик (Photocatalytic) шүүлтүүр (TiO_2 + UV-C)

Үйл ажиллагаа – Хэт ягаан туяа (UV-C) болон титаны давхар исэл (TiO_2)-ийн хослол нь химийн задрал үүсгэж, формальдегидийг нүүрсхүчлийн хий (CO_2) болон ус (H_2O) болгон задална.

Давуу тал – Органик бохирдуулагчийг бүрэн задлах чадвартай, байгальд ээлтэй технологи.

Сул тал – Үр дүнтэй ажиллахын тулд тодорхой хэмжээний UV-C гэрэл шаарддаг тул эрчим хүчний хэрэглээ өндөр.

3. Хүйтэн катализаторын (Cold Catalyst) шүүлтүүр

Үйл ажиллагаа – Өндөр идэвхтэй катализатор нь HCHO болон VOC-ийг тасалгааны температурт химийн урвалд оруулж, хоргүй бодис болгон хувиргана.

Давуу тал – Цахилгаан хэрэглэдэггүй, байгальд ээлтэй, удаан ашиглах боломжтой.

Сул тал – Бусад шүүлтүүртэй харьцуулахад задлах хурд нь арай удаан.

Формальдегид шүүх хамгийн үр дүнтэй арга

Идэвхжүүлсэн нүүрстөрөгч + Фотокаталитик (TiO_2 + UV-C) + HEPA – Энэ хослол нь HCHO, VOC, тоосонцор, бактерийг үр дүнтэй шүүнэ.

(UV18H)-ЗАГВАРЫН ШҮҮЛТҮҮРИЙН ҮЗҮҮЛЭЛТ

9-Р ХҮСНЭГТ

Нэр	**UVC Air prurifier with nano tio2 sprayed inside (UV18H)**
Хэрэглээ	Үйлдвэр, анагаах ухаан, инженерчлэл
Эрчим хүчний хэрэглээ	26Вт/ц
Хэрэглэх хүрээ	61м^2
Сэлгэх агаарын хэмжээ	50м^3

(UV18H)-ЗАГВАРЫН ШҮҮЛТҮҮРИЙН ЦАХИЛГААН ЗАРЦУУЛАЛТ

10-Р ХҮСНЭГТ

Тоо ширхэг, ш	26
Сарын цахилгаан зарцуулалт,₮	681,408
Жилийн цахилгаан зарцуулалт,₮	8,1768,96

III. ДҮГНЭЛТ

1. Эмнэлгийн барилгын бичил орчныг сайжруулахад “intelligent HVAC” болон “smart HVAC “ системийг ашигладаг болсон байна.

2. Монгол Улсын томоохон эмнэлгүүдийн барилга 1960-1980 оны хооронд байгуулагдсан тул байгууламжийн агааржуулалтын систем хуучирч, шаардлага хангахгүй болсноор дотор агаарын чанарт сөрөг нөлөө үзүүлж байна.

3. Эмнэлгийн барилгыг барих болон засварлах хийцийн барилгын материалууд нь стандартын шаардлага хангаагүй тул формалдегид их хэмжээгээр үүсэж, удаан хугацаагаар хадгалагдаж байх боломжтой.

4. Тиймээс энэ судалгааны үндсэн дээр тус эмнэлгийн барилгын АКС-д хоёр төрлийн шүүлтүүр суурилуулахыг санал болгож байна.Үүнд: а. Activated carbon шүүлтүүр. Давуу тал нь: HCHO, VOC (дэгдэмхий органик нэгдлүүд), эвгүй үнэрийг шүүнэ Сул тал: Нүүрсэн шүүлтүүр нь тодорхой хугацааны дараа ханаж, үр дүн нь буурдаг тул тогтмол солих шаардлагатай. б. Идэвхжүүлсэн нүүрстөрөгч + Фотокаталитик (TiO_2 + UV-C) + HEPA шүүлтүүр нь өрөө тасалгаанд байршуулдаг зөөврийн агаар шүүх төхөөрөмж юм. Давуу тал- HCHO, VOC, тоосонцор, бактерийг үр дүнтэй шүүнэ. Сул тал цахилгааны хэрэглээтэй тул тус эмнэлэгт 26ш байршуулахад жилд 8,1768,96₮ зарцуулна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

1. https://legalinfo.mn/
2. Intelligent HVAC systems in hospitals, Jori Reijulaa, Rauno Holopainenb, Erkki Кая, Kari Reijulab and Iris D. Tommeleina DOI:10.1080/17508975.2013.778192
3. Статистикийн мэдээллийн сан
4. http://agaar.mn/index
5. ASHRAE. 2003. HVAC Design Manual for Hospitals and Clinics. Atlanta, GA: American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc
6. https://www.epa.gov/
7. https://www.who.int/
8. https://www.eea.europa.eu/

ЦАХИУРЫН ТӨРЛИЙН НАРНЫ ЦАХИЛГААН ҮҮСГҮҮРИЙГ ДАХИН БОЛОВСРУУЛАХ ТЕХНОЛОГИЙН СУДАЛГАА

Сүхболдын МАРГАД[1], Чулуунхүүгийн НАРАНЗУЛ[2], Доржжаргалын БАТДОРЖ[3], Эрдэнэбатын МӨНХТУЯА[4]

Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Шинэ Сэргээгдэх эрчим хүчний салбар

Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: margad9914@gmail.com[1] , naranzulchuluunhvv@gmail.com[2] , dbatdorj82@gmail.com[3] , e.munkhtuya@must.edu.mn[4]

***Хураангуй*: Нарны цахилгаан үүсгүүрийг дахин боловсруулалтын хамгийн чухал зорилго нь байгаль орчныг хамгаалах, эрчим хүчний хэрэглээг хэмнэх, мөн шинэ панелүүдийн үйлдвэрлэлд хэрэгцээтэй түүхий эдийг дахин ашиглах боломжийг олгох юм. Нарны цахилгаан үүсгүүрийн (НЦҮ) дахин боловсруулалт нь байгаль орчныг хамгаалах, тогтвортой хөгжлийг хангах, ховор болон үнэ цэнтэй материалыг үр ашигтай ашиглахад чухал ач холбогдолтой. Энэхүү судалгаанд НЦҮ-ийг дахин боловсруулах үндсэн аргачлалууд болох механик, термохимийн болон химийн боловсруулах аргуудыг харьцуулан судалж, Монгол Улсад нэвтрүүлэх боломж, тулгарч буй бэрхшээлүүдийг тодорхойлсон. Судалгааны үр дүнд механик дахин боловсруулах арга нь бага зардалтай боловч цахиурын цэвэршилт бага, химийн арга нь өндөр цэвэршилттэй боловч өртөг өндөр болох нь тогтоогдсон. Монголын нөхцөлд механик болон термохимийн аргуудыг хослуулан хэрэглэх нь илүү оновчтой шийдэл болохыг туршилтаар баталсан. Судалгааны үр дүнд гарсан дүгнэлтүүд нь Монгол Улсад нарны цахилгаан үүсгүүрийн дахин боловсруулах салбарыг хөгжүүлэх бодлогын үндэс суурь болох боломжтой.**

Түлхүүр үг: Нарны цахилгаан үүсгүүр, ашиглалтаас гарсан төхөөрөмж, дахин боловсруулалт, тогтвортой хөгжил

I. УДИРТГАЛ

Сэргээгдэх эрчим хүчний хэрэглээ дэлхий даяар өсөн нэмэгдэж байгаа энэ үед нарны цахилгаан үүсгүүр (НЦҮ)-ийн үйлдвэрлэл, хэрэглээ, ашиглалтын хугацаа дууссаны дараах дахин боловсруулах асуудал нь чухал сэдэв болоод байна. Нарны цахилгаан үүсгүүр нь нүүрстөрөгчийн ялгарал багатай, байгаль орчинд ээлтэй шийдэл боловч тэдгээрийг зохистойгоор дахин боловсруулахгүй бол байгаль орчинд сөрөг нөлөө үзүүлэх эрсдэлтэй.

Нарны эрчим хүчийг цахилгаан болгон хувиргадаг НЦҮ нь дэлхийн эрчим хүчний тогтвортой хөгжлийн нэг чухал тулгуур болж байна. Уламжлалт эрчим хүчний эх үүсвэрүүдийн хомсдол, уур амьсгалын өөрчлөлт, ногоон эрчим хүчний эрэлт хэрэгцээ нэмэгдэж байгаатай уялдан НЦҮ-ийн үйлдвэрлэл, суурилуулалт ихээр нэмэгдэж байгаа нь үүний тод жишээ юм.

НЦҮ нь цахиур, хөнгөн цагаан, шил, полимер зэрэг материалуудаас бүрдэх ба эдгээрийг дахин боловсруулах нь материалын дахин ашиглалтыг нэмэгдүүлж, хаягдлыг бууруулахад чухал үүрэг гүйцэтгэнэ. [1] Гэвч энэхүү дахин боловсруулах үйл явц нь технологийн болоод эдийн засгийн хүндрэлтэй тулгарч буйгаас гадна улс орон бүрийн нөхцөл байдал харилцан адилгүй байдаг.

НЦҮ-ийн ашиглалтын хугацаа дунджаар 20-25 жил байдаг. [2] Энэ хугацаа дуусах үед тэдгээрийн үр ашгийг бууруулдаг механик элэгдэл, хэт ягаан туяаны нөлөөллөөс үүссэн материалын элэгдэл зэрэг хүчин зүйлс үүсдэг. Ашиглалтаас гарсан НЦҮ-ийг зүгээр л хог хаягдал болгон үлдээх нь байгаль орчинд аюултай бөгөөд тэдгээрээс агуулагдах цахиур, хар тугалга, мөнгөн ус зэрэг бодисууд хөрс, ус, агаарын бохирдол үүсгэх эрсдэлтэй.[3] Иймээс эдгээр хаягдал материалыг дахин боловсруулах технологийн судалгаа нь зайлшгүй шаардлагатай болж байна.

Сүүлийн жилүүдэд Европын Холбоо (ЕХ), АНУ, Хятад зэрэг улс орнууд НЦҮ-ийн дахин боловсруулалтын асуудалд анхаарч, бодлого боловсруулан, технологийн шинэчлэл хийж байна. [4] Европын Холбооны PV Cycle хөтөлбөр нь НЦҮ-ийн хаягдлыг цуглуулж, дахин боловсруулах бүтцийн системийг хөгжүүлсэн бол Хятад улс НЦҮ-ийн үйлдвэрлэл болон дахин боловсруулах салбарт ихээхэн хөрөнгө оруулалт хийж байна. [5]

Технологийн хувьд НЦҮ-ийг дахин боловсруулах үндсэн гурван арга бий. Үүнд механик дахин боловсруулалт, термохимийн дахин боловсруулалт, химийн аргаар цэвэршүүлэх арга багтдаг. Эдгээр аргууд нь тус тусын давуу болон сул талтай бөгөөд Монгол Улсад аль аргыг хэрэгжүүлэх боломжтойг судлах шаардлагатай юм. [6]

Монгол Улс сэргээгдэх эрчим хүчний хэрэглээг нэмэгдүүлэх зорилгоор олон нарны цахилгаан станцуудыг байгуулсан бөгөөд цаашид ч энэ чиглэлд хөгжинө гэж үзэж байна. Гэвч хуучирч ашиглалтаас гарах НЦҮ-ийг хэрхэн зохистойгоор дахин боловсруулах тухай бодлого, стандартууд дутмаг байна. Иймд энэхүү судалгаагаар НЦҮ-ийг дахин боловсруулах технологийн боломжуудыг судалж, Монгол Улсад нэвтрүүлэх боломж, сорилтуудыг тодорхойлох зорилготой.

Монгол Улсын нөхцөлд НЦҮ-ийн дахин боловсруулалтыг хөгжүүлэхийн тулд дараах асуудлуудыг шийдвэрлэх шаардлагатай:

- Дахин боловсруулах технологийн судалгаа, хөгжүүлэлт: Одоогоор

Монголд НЦҮ-ийн дахин боловсруулах үйлдвэр байхгүй бөгөөд энэ чиглэлээр

судалгаа, хөгжүүлэлтийг дэмжих бодлого бидэнд хэрэгтэй.

- Хууль, эрх зүйн орчин: НЦҮ-ийн хаягдлыг зохицуулах тодорхой хууль, дүрэм, стандарт байхгүй тул энэ чиглэлээр бодлого боловсруулалт шаардлагатай.
- Санхүүжилт, хөрөнгө оруулалт: Дахин боловсруулах үйлдвэр байгуулах, шаардлагатай технологийг нэвтрүүлэхийн тулд хөрөнгө оруулалт татах.
- Олон нийтийн ойлголт, оролцоо: НЦҮ-ийн дахин боловсруулалтын ач холбогдлын талаар хэрэглэгчид, компаниуд болон төрийн байгууллагуудын мэдлэгийг нэмэгдүүлэх.

II. НАРНЫ ЦАХИЛГААН ҮҮСГҮҮРИЙН БҮТЭЦ, ҮЙЛДВЭРЛЭЛ

Цахиурын нарны цахилгаан үүсгүүр (НЦҮ) нь өнөө үед хамгийн өргөн хэрэглэгдэж буй нарны эрчим хүчний технологи юм. Үүнийг үйлдвэрлэх үйл явц нь цахиурын цэвэршүүлэлт, талст үүсгэлт, нарны модуль үйлдвэрлэх, самбар угсрах гэсэн үндсэн үе шаттай. [7]

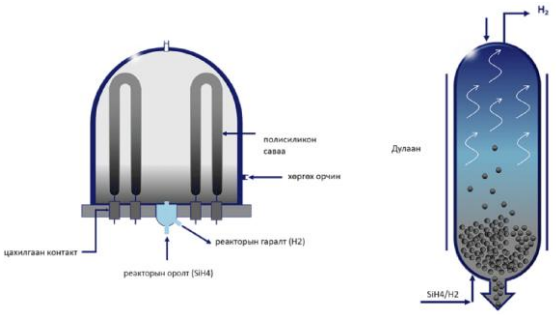
A. Цахиурын нарны цахилгаан үүсгүүрийн үйлдвэрлэлийн процесс

1-р шат Цахиур олборлох ба цэвэршүүлэх

Цахиур нь байгалийн элсэн чулуу, кварцаас гаргаж авдаг гол түүхий эд бөгөөд цахиурыг нарны үүсгүүр үйлдвэрлэхийн тулд кварц дахь цэвэр бус цахиурын давхар ислийг багасгаж, цэвэршүүлэх замаар олж авах шаардлагатай.

Зураг 1. 1 Нарны цахилгаан үүсгүүрийн үндсэн элемент болох цахиурын олборлолт

Эхний алхамд кварцыг өндөр температурт нүүрстэй урвалд оруулж металл цахиур гаргаж авна. Гэхдээ энэ нь нарны үүсгүүрт шууд ашиглагдах боломжгүй тул химийн аргаар дахин цэвэршүүлж, өндөр цэвэршилттэй цахиур гарган авдаг. [8]



Зураг 1. 2 Цахиурын давхар ислийг багасгаж, цэвэршүүлэх процесс

2-р шат Цахиурын талст үүсгэх (Нэг талст болон олон талст цахиур)

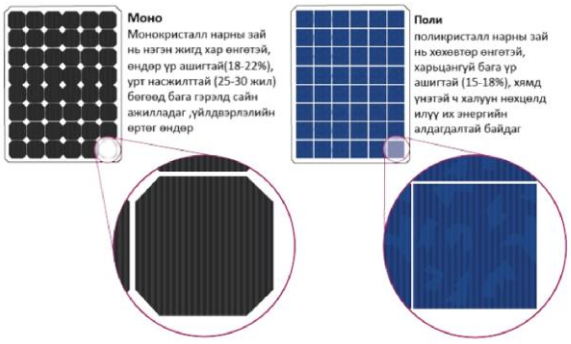
Цэвэршүүлсэн цахиурыг хайлуулж, талстжуулан нарны үүсгүүрт тохиромжтой хэлбэрт оруулдаг.

- **Нэг талст цахиур (Monocrystalline Silicon, Mono-Si)**

Czochralski аргаар нэгэн жигд талст үүсгэдэг бөгөөд өндөр үр ашигтай (18-22%) боловч үйлдвэрлэлийн өртөг өндөр байдаг.

- **Олон талст цахиур (Polycrystalline Silicon, Poly-Si)**

Олон талст цахиурыг хайлуулж хэвд цутгах замаар үүсгэдэг. Энэ нь үйлдвэрлэлийн хувьд илүү хялбар бөгөөд хямд боловч үр ашиг нь нэг талст цахиураас бага (15-18%).[9]



Зураг 1. 3 Нэг талст болон олон талст цахиурын харьцуулалт

3-р шат Цахиурын нимгэн хавтан (Wafer) зүсэх

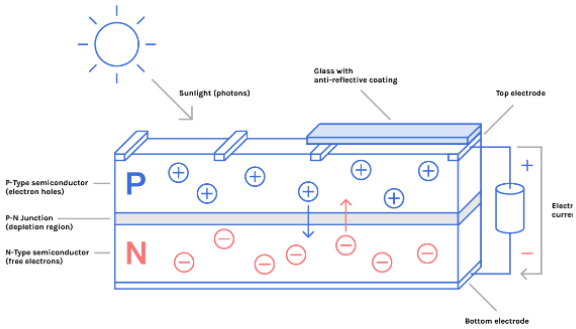
Бэлэн болсон цахиурын талстыг алмаз утсан хөрөө ашиглан 160-200 микрометрийн зузаантай нимгэн хавтан болгон зүснэ.

Зураг 1. 4 Цахиурын нимгэн хавтан (Wafer) зүсэлт

Энэ үе шат нь өндөр нарийвчлал шаарддаг бөгөөд нимгэн зүсэлт хийх нь материалын хаягдлыг багасгах чухал ач холбогдолтой.

4-р шат P-N дамжуулагч үүсгэх (Doping)

Нарны эсүүд нь фотоволтайк эффект дээр үндэслэдэг бөгөөд цахилгаан талбай үүсгэхийн тулд p-n дамжуулагч үүсгэх шаардлагатай.

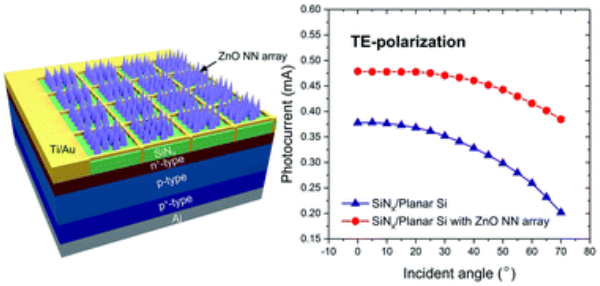


Зураг 1. 5 P-N дамжуулагчийн бүтэц

Электрон ба цоорхой үүсгэхийн тулд цахиурын давхаргад фосфор болон бор нэмнэ. Үүний үр дүнд гэрлийн энергийг цахилгаан болгон хувиргах суурь бүтэц бий болно.

5-р шат Гэрэл шингээх чадварыг сайжруулах (Anti-Reflective Coating, ARC)

Цахиур нь гэрлийн ихэнхийг ойлгодог учраас цахиурын нитрид (Si_3N_4) зэрэг тусгай бүрхүүл түрхэнэ. [10]

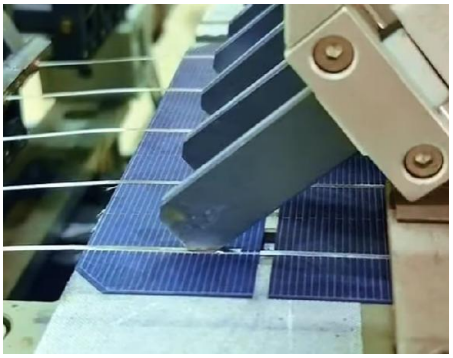


Зураг 1. 6 Гэрэл шингээх давхаргын бүтэц болон үр дүнгийн хүснэгт

Энэ бүрхүүл нь нарны гэрлийн ойлтыг бууруулж, илүү их энергийг шингээж авах боломжийг бүрдүүлнэ.

6-р шат Металл электрод суулгах

Нарны эсүүдийг цахилгаан гүйдэл дамжуулахын тулд тусгай **мөнгөн эсвэл зэс электрод** нэмдэг.

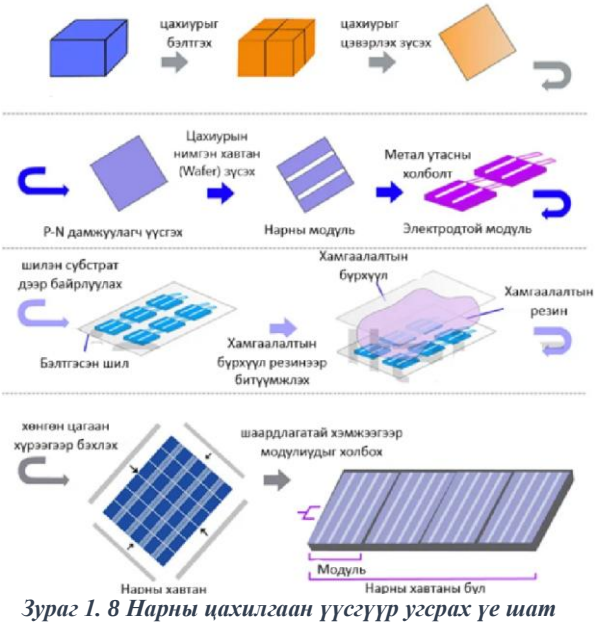


Зураг 1. 7 Бүрхүүл дээр металл электрод суулгах

Эдгээр дамжуулагч нь нарны үүсгүүрийн дотоод эсэргүүцлийг бууруулж, үр ашгийг нэмэгдүүлэх чухал үүрэгтэй.

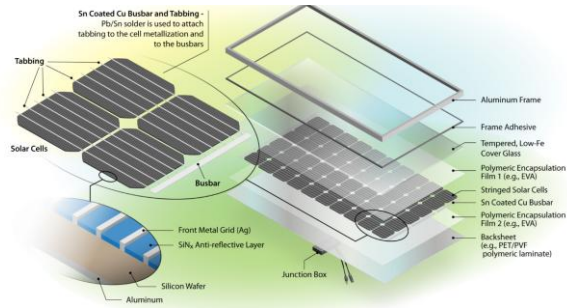
7-р шат Нарны цахилгаан үүсгүүр угсрах

Эцэст нь нарны эсүүдийг холбож, хамгаалалтын давхаргатай нарны самбар болгон угсардаг.



Зураг 1. 8 Нарны цахилгаан үүсгүүр үгсрах үе шат

Хавтан бүр хамгаалалтын шилэн бүрхүүл, цахилгаан холболт, механик бэхэлгээтэй байдаг.



Зураг 1.9 Нарны цахилгаан үүсгүүрийн дэлгэрэнгүй бүтэц

III. ЦАХИУРЫН ТӨРЛИЙН НАРНЫ ЦАХИЛГААН ҮҮСГҮҮРИЙН ДАХИН БОЛОВСРУУЛАЛТЫН ШААРДЛАГА, АРГУУД

Цахиурын нарны цахилгаан үүсгүүрүүдийг дахин боловсруулах нь байгаль орчинд ээлтэй, эрчим хүчний салбарт тогтвортой байдлыг хангах чухал үйл явц юм. [11] Нарны цахилгаан үүсгүүрийн дахин боловсруулах гол зорилго нь цахиур (силикон), мөн бусад үнэтэй материалыг (мөнгө, зэс, хөнгөн цагаан, шил) дахин ашиглах явдал юм. [12] Иймээс эдгээр материалыг шинэ нарны үүсгүүрүүдийн үйлдвэрлэлд ашиглах боломжтой болгох нь байгаль орчныг хамгаалах, эрчим хүчний хангамжийг сайжруулах, мөн эдийн засгийн хувьд чухал ач холбогдолтой юм.

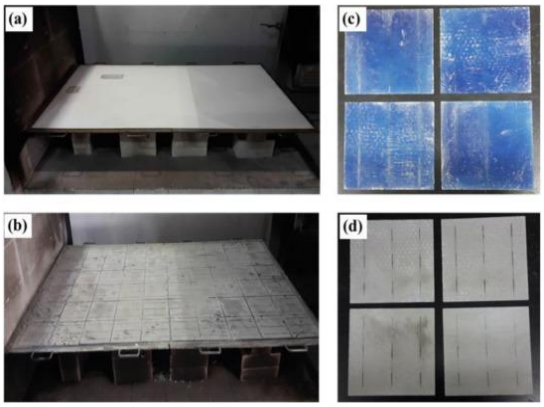
A. Механик дахин боловсруулах

Цахиурын нарны үүсгүүрийн дахин боловсруулах хамгийн түгээмэл арга юм. Энэ процесс нь нарны панелийг жижиг хэсгүүдэд бутлах, үүнээс метал (хөнгөн цагаан, мөнгө, цагаан тугалга, хар тугалга, зэс) болон бусад материалыг ялгах үйл явц юм. [13] Цахиур нь хамгийн үнэтэй, хамгийн чухал материал тул үүнийг цэвэрлэж, дахин боловсруулж, шинэ нарны үүсгүүр үйлдвэрлэхэд ашиглах боломжтой. Механик дахин боловсруулах нь материалыг 90% хүртэл сэргээн ашиглах боломжийг олгодог бөгөөд байгаль орчны хог хаягдлыг бууруулахад чухал үүрэг гүйцэтгэдэг.

Зураг 1. 10 Механик дахин боловсруулалтын процесс

B. Дулааны аргаар дахин боловсруулах

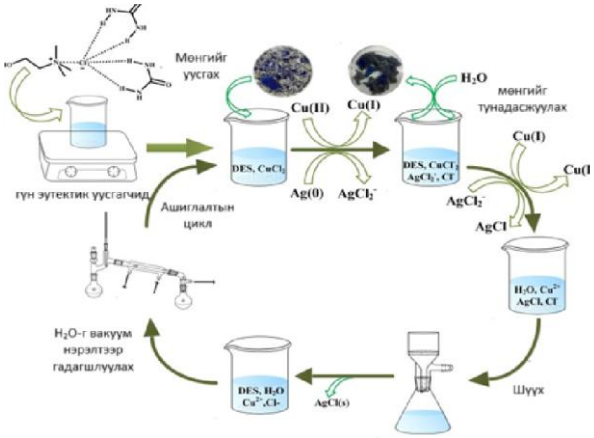
Цахиурын нарны үүсгүүр ба шилний хоорондох наалдамхай материалаас болж шилийг PV хавтангаас салгахад хүндрэлтэй байдаг. Нарны цахилгаан үүсгүүрийг бүхэлд нь зууханд хийж 300-600°C хүртэл температурт пиролизд оруулна. Хавтангийн EVA давхарга нь азотын дор 450°C-д задардаг, ингэснээр хавтангаас шил болон цавуулаг бодисыг хялбар салгадаг. Энэ арга зардал багатай, өргөн ашиглагдаж буй арга хэдий ч тодорхой хэмжээгээр эрчим хүчний хэрэглээ шаарддаг мөн хорт хий ялгаруулдаг сул талууд бий.



Зураг 1.11 Дулааны аргаар дахин боловсруулах

A. Химийн дахин боловсруулах

Цахиурын нарны үүсгүүрийг дахин боловсруулах бас нэгэн орчин үеийн арга юм. Хөнгөн цагаан хүрээ болон шилэн давхаргыг механик аргаар салгасны дараа тусгай хүчиллэг болон шүлтлэг уусгагчаар цахиурын давхарга, метал бүрхүүлийг задлах бөгөөд ингэснээр илүү цэвэр, өндөр чанартай цахиурыг дахин боловсруулах боломжийг олгодог. Ирээдүйд энэ арга нь улам боловсронгуй болж, нарны цахилгаан үүсгүүрийн дахин боловсруулах процесст томоохон хувьсгал авчрах боломжтой.



Зураг 1. 12 Химийн дахин боловсруулах

IV. МОНГОЛ УЛСАД НАРНЫ ЦАХИЛГААН ҮҮСГҮҮРИЙГ ДАХИН БОЛОВСРУУЛАХ БОЛОМЖ, СОРИЛТУУД

Монгол орны газарзүй, уур амьсгал нь нарны эрчим хүчний үйлдвэрлэлтэд хамгийн тохиромжтой орон бөгөөд сүүлийн жилүүдэд нарны цахилгаан үүсгүүрийн үйлдвэрлэл болон ашиглалтыг нэмэгдүүлэх чиглэлээр олон төслүүд хэрэгжүүлсэн. Мөн мал аж ахуй эрхлэн амьдрах иргэд, аж ахуй нэгж, үүрэн телефоны томоохон байгууллага, эрчим хүчний үүрэг хүлээсэн хэрэглэгчид нарны цахилгаан үүсгүүрийг ихээр суурьлуулах болсон нь бидэнд дахин боловсруулах технологийн оновчтой шийдэл хэрэгтэй байгааг илтгэж байна. Гэхдээ нарны цахилгаан үүсгүүрийг дахин боловсруулах асуудал нь тодорхой хэмжээний сорилтуудыг дагуулдаг бөгөөд эдгээр сорилтуудыг шийдвэрлэх нь нарны эрчим хүчний салбарын тогтвортой байдлыг хангах чухал алхам юм.

Монгол Улсад хамгийн анхны томоохон нарны цахилгаан станц 2017 онд Дархан хотод ашиглалтад орсон. Дархан нарны цахилгаан станц нь 10 мегаватт хүчин чадалтай бөгөөд Монгол Улсад байгуулагдсан анхны том хэмжээний нарны станц юм. Энэ станц нь орон нутгийн эрчим хүчний хэрэгцээг хангах, мөн нарны эрчим хүчийг тогтвортой ашиглах чиглэлд чухал алхам болсон.

Монгол Улс дахь нарны цахилгаан үүсгүүрийн дахин боловсруулах боломжийн талаар авч үзэхэд хэд хэдэн сорилт, боломжууд үүсч байна.

Сорилтуд:

1. Дахин боловсруулалт хийх дэд бүтэц дутагдалтай

Монгол Улс дахь дахин боловсруулалтын дэд бүтэц нь нарны цахилгаан үүсгүүрийн үйлдвэрлэл болон ашиглалтын хэмжээнд тохирохоор хөгжөөгүй байна. Нийтлэг дахин боловсруулах төвүүд эсвэл өндөр технологийн бүрэн боловсруулах байгууламжууд олдоход хүнд байж болох бөгөөд энэ нь дахин боловсруулах процессыг удаашруулж, өртөг нэмэгдүүлэх хүчин зүйл болж байна.

2. Мэдлэг, боловсролын дутагдал

Нарны цахилгаан үүсгүүрийг дахин боловсруулах талаар хангалттай мэдлэг, боловсролын дэмжлэг үйлдвэрүүд болон дахин боловсруулах үйл ажиллагаа эрхлэгчдэд зориулсан сургалт, зөвлөмжийн дутагдал юм. Энэ нь технологийн шинэчлэл хийх, сайн туршлага бүхий дахин боловсруулах төвүүдийг байгуулахад бэрхшээлийг үүсгэж байна.

3. Технологийн дэвшил

Нарны үүсгүүрийг дахин боловсруулах техник технологи нь өндөр өртөгтэй бөгөөд нарийн технологитой. Мөн ашиглаж буй тоног төхөөрөмж, процесс нь орон нутагт оруулж ирэхэд нэмэлт хөрөнгө оруулалт шаардаг. Энэ нь дахин боловсруулах үйл явцын үр ашгийг бууруулж, эрчим хүчний хэмнэлт болон хаягдлын асуудлыг шийдвэрлэхэд саад болж байна.

4. Нарны цахилгаан үүсгүүрийн хаягдал бага

МУ-ын анхны нарны цахилгаан станцын хавтангууд ашиглалтын хугацаанаас гараагүй, хэрэглээ харьцангуй бага байгаа учир тэдгээрийг дахин боловсруулах шаардлага ч бага байдаг.

***Боломжууд*:**

1. *Дахин боловсруулалтад оруулах шинэ технологиуд*

Монгол Улс нь дахин боловсруулалтын шинэ технологиудыг нэвтрүүлэх боломжтой. Дахин боловсруулалтыг хөнгөвчлөх технологиудыг нэвтрүүлэх, ялангуяа лазер, хими болон дулааны технологийг ашиглан дахин боловсруулах процессыг сайжруулах нь нарны цахилгаан үүсгүүрийн хаягдлыг бууруулах боломжтой.

2. Олон улсын хамтын ажиллагаа

Нарны цахилгаан үүсгүүрийн дахин боловсруулалтын асуудалд олон улсын хамтын ажиллагаа нэмэгдэж байгаа нь Монгол Улс шинэ технологиудыг ашиглах, мэдлэг, туршлага хуримтлуулах боломжийг олгоно. Эдийн засгийн болон технологийн дэмжлэгийг олон улсын байгууллагуудаас авах нь Монгол Улсын нарны эрчим хүчний дахин боловсруулалтын салбарт амжилт гаргах боломжийг нэмэгдүүлнэ.

3. Нарны цахилгаан үүсгүүрийн дахин боловсруулалтын бодлого

Монгол Улс нарны цахилгаан үүсгүүрийн дахин боловсруулалтын чиглэлээр тодорхой бодлого, хуулиудыг боловсруулж, шинэ санаачлагуудыг дэмжих боломжтой. Тухайлбал, дахин боловсруулалтыг дэмжих санхүүгийн дэмжлэг, татварын хөнгөлөлт үзүүлэх, шаардлагатай техник технологийг нэвтрүүлэх

зэрэг дэмжлэг үзүүлэх нь энэ салбарт чухал үүрэг гүйцэтгэх болно.

1) Физик эвдрэл эсвэл бүрэлдэхүүн хэсгийн гэмтэл

- Хагарах, хугарах, эсвэл хүнд бохирдсон нарны цахилгаан үүсгүүр нь нарны гэрлийг шингээхэд саад болно.
- Инвертер нь тогтмол гүйдлийг (DC) хувьсах гүйдэл (AC) болгон хувиргах чухал үүрэгтэй. Хэрэв инвертер ажиллахгүй бол цахилгаан сүлжээ болон батарей руу цахилгаан дамжуулахгүй.
- Сүлжээнээс хамааралгүй болон холимог системд батарей эвдэрвэл (гүн цэнэг алдах, сульфатацлагдах, хэт халах гэх мэт) цахилгаан тасалдах эрсдэлтэй.
- Сул, зэвэнд идэгдсэн, гэмтэлтэй кабель нь эрчим хүчний урсгалыг тасалдуулна.

2) Цахилгааны болон програм хангамжийн гэмтэл

- Сүлжээний тогтворгүй байдал эсвэл засвар үйлчилгээний улмаас эрчим хүчний компаниас цахилгаан таслах.
- MPPT хянагч ажиллахгүй бол эрчим хүчний оновчтой ашиглалтад сөргөөр нөлөөлнө.
- Хэрэв хяналтын систем эвдэрвэл асуудлыг зөв оношлох боломжгүй болно.
- Зарим инвертер болон батарей удирдлагын системүүд нь програм хангамжийн шинэчлэл шаарддаг.

Хэрэв нарны хавтангийн гаралт анхны хүчин чадлынхаа 70-80%-аас доош орвол үр ашиггүй болно. Энэ тохиолдолд ашиглалтнаас гарсан гэж үзнэ.

Жишээ тооцоолол: Дарханы нарны цахилгаан станцын нарны цахилгаан үүсгүүрүүд дээр жишээ авъя.

Дарханы нарны цахилгаан станцад Японы Шарп брендийн, 310 Вт чадлын 32274 ширхэг нарны цахилгаан үүсгүүр бий. Монгол Улсад 32,274 ширхэг Sharp 310W поли кристал нарны цахилгаан үүсгүүрийг механик дахин боловсруулах замаар ямар материалуудыг сэргээн ашиглах боломжтойг тооцоолоход дараах үр дүн гарсан. Эдгээр нарны цахилгаан үүсгүүрийн нийт жин нь ойролцоогоор 580,932 кг бөгөөд үүний ихэнх хэсэг нь шил, хөнгөн цагаан, зэс, мөнгө зэрэг үнэтэй материалыг агуулдаг. Дахин боловсруулах аргаар хамгийн их сэргээгдэж болох материал бол шил юм. Энэ нь нийт жингийн 70-75%-ийг эзэлдэг бөгөөд нийтдээ 420,176 кг шил, хөнгөнцагаан 43,570 кг нь дахин ашиглагдаж, 8,714 кг зэсийг сэргээн ашиглах боломжтой. Нарны цахилгаан үүсгүүрүүдэд мөнгө нь 0.1-0.2%-ийг эзэлдэг бөгөөд энэ нь ойролцоогоор 871.4 кг мөнгийг гаргаж авна.

Үүнд эдийн засгийн тооцоолол хийхэд:

2025 оны 1-р сарын байдлаар Монгол Улсын Ашигт малтмал, газрын тосны газар (АМГТГ)-аас гаргасан мэдээллээр.

Зэс	8,439.29 ам.доллар/тонн
Хөнгөн цагаан	2,000 ам.доллар/тонн
Мөнгө	700,000 ам.доллар/тонн
Шил	Шилний үнэ нь харьцангуй бага тул тооцоогүй, дахин боловсруулалтын зардлыг нөхөхөд ашиглагддаг.

- Нийт үнэ цэнийг 770,726 ам.доллар буюу 2,671,238,169 төгрөг гэж тооцов.
- Нийт талбай =32,274ш*1.6 м2=51,638 м2

НЦҮ-ийн дахин боловсруулалтын нийт зардал = ∑ Өөрийн зардал + ∑ Гадаад зардал − ∑Ашиг.

- Өөрийн зардал=Хөрөнгө оруулалтын зардал+Үйлдвэрлэлийн зардал+Тээврийн зардал

Дарханы нарны цахилгаан станцын 32,274 нарны хавтанг дахин боловсруулахад нийт 2.44 тэрбум төгрөгийн үнэ бүхий металлууд сэргээгдэнэ.

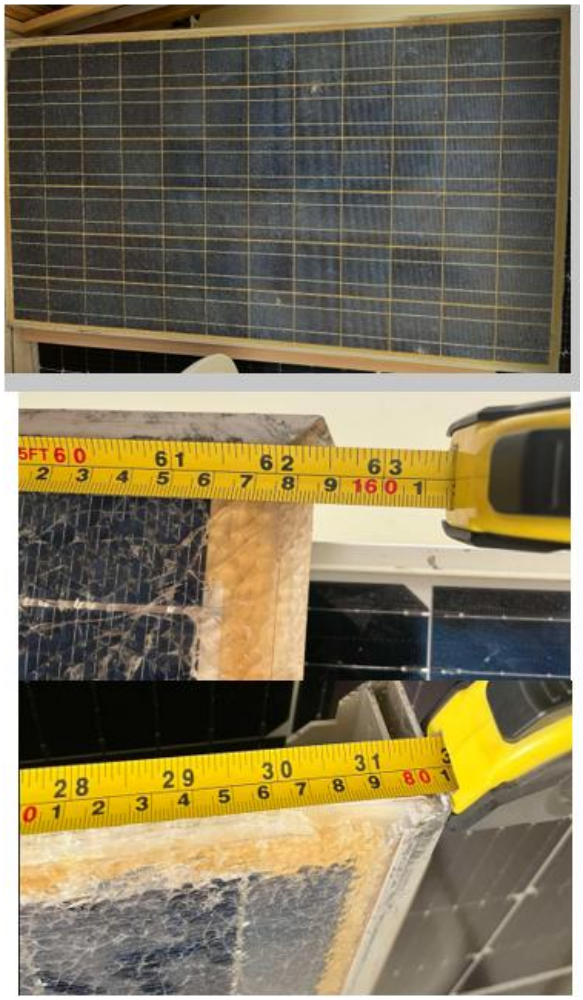
Нийт зардал (хувийн + гадаад зардал) = 2.23 тэрбум төгрөг

Үйлдвэрлэлийн болон байгаль орчны зардлыг тооцсоны дараа цэвэр ашиг 212.5 сая төгрөгийн ашиг гарч байна (Өөрөөр хэлбэл, 32,274 ширхэг нарны хавтанг дахин боловсруулж, металлуудыг нь зарсны дараа зардлыг нөхсөний дараах үлдэх ашиг)

Эдгээр материалыг Монгол Улсад дахин боловсруулалт хийхэд ашиглах нь байгаль орчинд ээлтэй бөгөөд хог хаягдлыг багасгах, үнэтэй түүхий эдийг дахин ашиглах зэрэг олон ач холбогдолтой юм. Технологи, дэд бүтэц болон сургалт, боловсролын салбарт нэмэлт хөрөнгө оруулалт хийж, дахин боловсруулах үйл ажиллагааг дэмжих нь Монгол Улс дахь нарны цахилгаан үүсгүүрийн дахин боловсруулалтыг үр дүнтэй болгоход чухал үүрэг гүйцэтгэх болно.

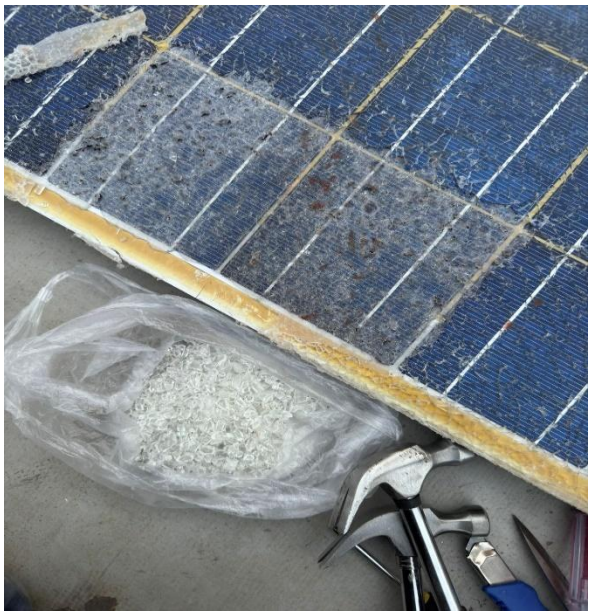
V. ТУРШИЛТ

Бид Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургуульд байрлах ашиглалтаас гарсан нарны цахилгаан үүсгүүрийг судалгааны ажлын туршилтын хэсэгт ашигласан.



Зураг 1. 13 Туршилтад ашигласан "Jinko solar" 400Вт-ын нарны цахилгаан үүсгүүр

А. Хөнгөнцагаан хүрээ, шилэн бүрхүүлийг салгах

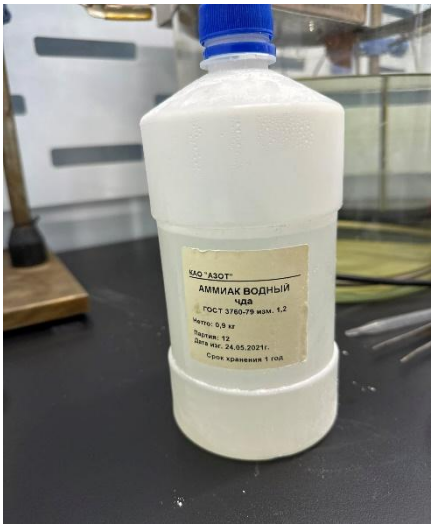


Зураг 1. 14 Нарны цахилгаан үүсгүүрээс гаргаж авсан буталсан шил

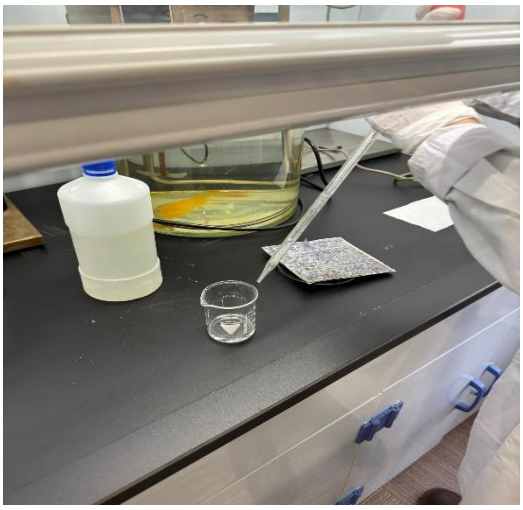
Зураг 1. 15 Нарны цахилгаан үүсгүүрээс салгасан хөнгөнцагаан хүрээ

160*80 м хэмжээтэй нэг ширхэг нарны цахилгаан үүсгүүрээс 13.1 кг буталсан, 1.85 кг хөнгөнцагаан хүрээг салгаж авсан.

В. Химийн аргаар дахин боловсруулах

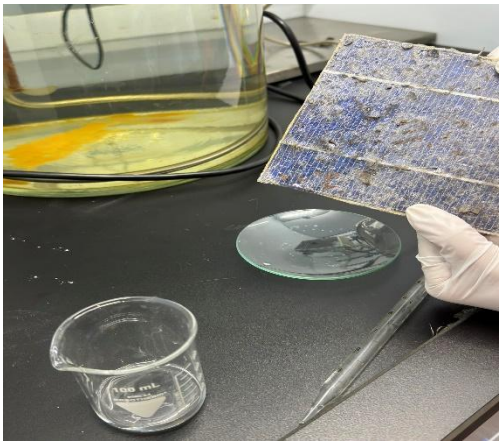


Зураг 1. 16 Азотын хүчил HNO3

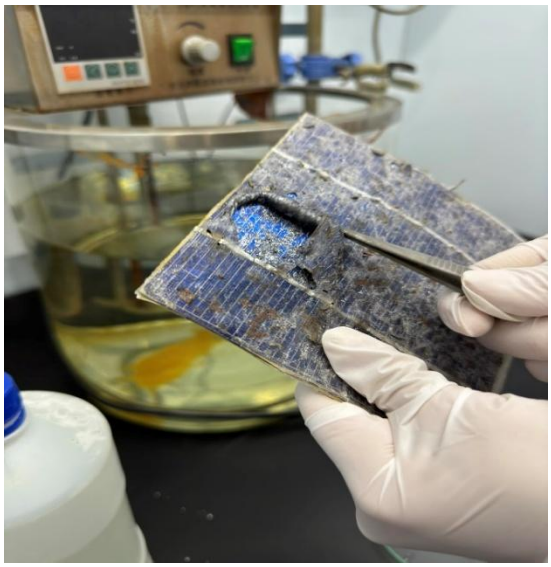


Зураг 1. 17 30% усан HNO3 уусмал ашиглана

Цахиурын нарны үүсгүүр ба шилний хоорондох наалдамхай материалыг салган авна.



Зураг 1. 18 Нэрмэл усны уусмалыг 20 минут байлгана



Зураг 1. 19 Цахиурын нарны үүсгүүр ба шилний хоорондох наалдамхай материалыг салган цахиурыг ялган авна

VI. ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгааны үр дүнд цахиурын төрлийн нарны цахилгаан үүсгүүрийн дахин боловсруулах хэд хэдэн арга технологийг судалж, тэдгээрийн үр ашиг, хэрэглээний боломжийг харьцуулан дүгнэв. Судалгаагаар механик дахин боловсруулах арга нь хамгийн энгийн бөгөөд бага өртөгтэй боловч нарны үүсгүүрээс гаргаж авах цахиурын цэвэршилтийн түвшин харьцангуй бага болох нь тогтоогдсон. Харин дулааны буюу термохимийн аргаар дахин боловсруулах үед EVA болон бусад органик давхаргуудыг задалж, цахиурыг ялгах боломжтой ч өндөр температур шаардлага учир эрчим хүчний зардал их байдаг. Химийн аргаар дахин боловсруулах нь цахиур болон бусад үнэт металлыг өндөр цэвэршилттэй гарган авах өндөр, байгаль орчинд сөрөг нөлөө үзүүлэх эрсдэлтэй байгааг туршилтын үр дүнгээс харж болно.

Монгол Улсад нарны үүсгүүрийг дахин боловсруулах салбарыг хөгжүүлснээр дэлхийн тогтвортой хөгжлийн зорилтуудад дараах эерэг нөлөөг үзүүлнэ:

1. Байгалийн нөөц – Нарны хавтангаас сэргээгдсэн хөнгөн цагаан, зэс, мөнгө зэрэг металлуудыг дахин ашигласнаар уул уурхайн олборлолтын ачааллыг бууруулж, байгалийн нөөцийг хамгаална.
2. Хог хаягдлын бууралт - Ашиглалтын хугацаа нь дууссан нарны хавтанг хогийн цэгт булшлахын оронд дахин боловсруулснаар хортой бодисын бохирдлоос урьдчилан сэргийлж, байгаль орчныг хамгаалах боломжтой.
3. Эдийн засгийн үр ашиг - Нарны хавтангийн дахин боловсруулалт нь шинэ ажлын байрыг бий болгож, эдийн засгийн шинэ салбарыг хөгжүүлэх боломжийг бүрдүүлнэ.
4. Эрчим хүчний хэмнэлт - Дахин боловсруулсан материал ашиглах нь шинэ түүхий эд олборлохоос бага эрчим хүч шаарддаг тул дэлхийн нийт эрчим хүчний хэрэглээг бууруулахад хувь нэмэр оруулна.
5. Нүүрстөрөгчийн ялгарлыг бууруулах - Дахин боловсруулалтын үйл ажиллагаа нь нүүрстөрөгчийн ялгарлыг бууруулан НҮБ-ын тогтвортой хөгжлийн зорилтод нийцэн ажиллах систем болж байна.

Энэхүү судалгааны үндсэн дээр Монгол Улсад нарны цахилгаан үүсгүүрийн дахин боловсруулалтыг хөгжүүлэхэд механик болон термохимийн аргыг хослуулж, бодлогын түвшинд зохицуулалт хийх шаардлагатай гэж дүгнэж байна. Ингэснээр байгаль орчинд ээлтэй, эдийн засгийн хувьд ашигтай, технологийн хувьд хэрэгжих боломжтой шийдэлд хүрэх боломжтой юм.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

[1] Fthenakis, V. (2000). End-of-life management and recycling of PV modules. Energy Policy, 28(14), 1051-1058.
[2] Sander, K., & Wambach, K. (2004). Recycling of photovoltaic panels. Renewable Energy, 22(1-3), 333-338.
[3] Kang, S., Yoo, S., Lee, J., & Boo, B. (2012). Experimental study on recycling of crystalline silicon solar module. Solar Energy Materials & Solar Cells, 98, 307-312.
[4] Choi, J., & Fthenakis, V. (2014). Design and optimization of solar panel recycling system. Resources, Conservation and Recycling, 89, 130-136.
[5] McDonald, N. C., & Pearce, J. M. (2010). Producer responsibility and recycling solar photovoltaic modules. Energy Policy, 38(11), 7041-7047.
[6] Tao, J., & Yu, S. (2015). Review on feasible recycling pathways and technologies of solar photovoltaic modules. Solar Energy Materials and Solar Cells, 141, 108-124.
[7] Deng, R., Chang, N. L., Ouyang, Z., & Chong, C. M. (2019). A techno-economic review of silicon photovoltaic module recycling. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 109, 532-550.
[8] Yang, J., Song, D., & Kim, Y. (2018). Comparative study on different methods for recovering silicon from waste solar panels. Journal of Cleaner Production, 180, 275-284.

[9] Park, J., & Lee, Y. (2020). Economic viability analysis of photovoltaic module recycling. Renewable Energy, 151, 832-839.
[10] IEA-PVPS. (2021). Trends in Photovoltaic Applications 2021. International Energy Agency.
[11] European Commission. (2018). Waste Electrical & Electronic Equipment (WEEE) Directive and PV Panels.
[12] Fraunhofer ISE. (2020). Life cycle assessment of crystalline silicon photovoltaic modules.
[13] IRENA. (2016). End-of-life management of solar photovoltaic panels

ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ ХЭМНЭЛТТЭЙ БАРИЛГЫН ЦАХИЛГААН ХЭРЭГЛЭЭГ НАРНЫ ЦАХИЛГААН ҮҮСГҮҮРЭЭР ХАНГАХ

Х.Сарангэрэл[1], О.Даваачулуун[1], Б.Цэвэлсүрэн[1]
[1]Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, ЭХИС, Шинэ, Сэргээгдэх Эрчим Хүчний Салбар
Холбогдох зохиогчийн и-мэйл хаяг: sarangerel@must.edu.mn[1]

***Хураангуй*: Хүн төрөлхтний эрчим хүчний хэрэглээ сүүлийн жилүүдэд хурдтай өсч байгаа бөгөөд энэ өсөлт нь байгалийн нөөцийн хязгаарлагдмал байдал, байгаль орчны асуудал, хүлэмжийн хийн ялгаруулалт гэх мэт асуудлуудыг үүсгэж байна. Тиймээс эрчим хүчийг хэмнэх, үр ашигтай ашиглах, сэргээгдэх эрчим хүчийг өргөжүүлэх нь чухал ач холбогдолтой юм. Энэхүү судалгааны ажлаар оффисын барилгыг эрчим хүчний хэмнэлттэй байхаар төлөвлөсөн бөгөөд барилгын дээвэр болон фасад хэсэгт 2 өөр төрлийн нарны цахилгаан үүсгүүрийг ашиглан нарны цахилгаан үүсгүүрийн тооцоо, сүүдэрлэлтийн тооцоо, эрчим хүчний үйлдвэрлэлийн тооцоо, эдийн засгийн тооцоо зэргийг хийж гүйцэтгэсэн. НЦС нь жилд нийт 156 МВт.ц эрчим хүч үйлдвэрлэх бөгөөд энэ нь нийт хэрэглээний 60-80% ийг хангаж байна. EDGE Buildings программ ашиглан суурь барилгын цахилгаан хэрэглээ, усны хэрэглээ гэх мэт барилгын хэрэглээнүүдийг оруулж тооцоолсон бөгөөд эрчим хүчний хэмнэлтийг харьцуулсан. Эрчим хүчний хэмнэлт нь 27.71%, усны хэмнэлт нь 30.22%, барилгын материалын хэмнэлт нь 23% байна.**

Түлхүүр үг: Нарны цахилгаан үүсгүүр, эрчим хүчний хэмнэлттэй барилга, EDGE үнэлгээний систем

I. УДИРТГАЛ

Дэлхийн хүн амын өсөлт 20-р зууны сүүлчээс хамгийн хурдтай явагдаж байна. Тухайлбал, 1900 онд дэлхийн хүн ам 1.6 тэрбум байсан бол 2000 онд 6 тэрбумыг давсан бөгөөд 2025 оны байдлаар дэлхийн хүн ам 8,209,650,870 байна [1]. Хүн ам өсөхийн хэрээр эрчим хүчний эх үүсвэрүүд (нүүрс, байгалийн хий, усан цахилгаан станцууд, нар, салхи гэх мэт) илүү ачаалалтай ажиллах шаардлага үүсдэг. Энэ нь байгаль орчинд дарамт учруулах, эрчим хүчний салбараас ялгарах хүлэмжийн хийг нэмэгдүүлэхэд хүргэж байна. Энэ нь дэлхийн хүлэмжийн хийн ялгаруулалтын хамгийн том хэсгийг (68.3%) нүүрсхүчлийн хий эзэлж байна. Нүүрсхүчлийн хийн ялгаруулалт нь голчлон нүүрс, нефть, байгалийн хий ашигласнаас үүдэлтэй бөгөөд эдгээр түлшний хэрэглээ өсөх тусам дэлхий даяар CO_2 ялгаруулалт нэмэгдсээр байна[2]. Хүлэмжийн хийн ялгаруулалт нь дэлхийн дулаарал, цаг агаарын өөрчлөлтөд шууд нөлөөлдөг учир эдгээр хийн ялгаруулалтыг бууруулах зорилгоор олон улс орон сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсвэрүүдийг ашиглах, эрчим хүчний үр ашгийг нэмэгдүүлэх олон арга хэмжээ авч байна. Тухайлбал, барилгын салбарт эрчим хүчний хэмнэлт нь энэ зорилтын хүрээнд чухал байр суурь эзэлж байна. Сэрүүн болон хүйтэн бүсийн орнууд (жишээ нь, Монгол, Орос, Канад, Скандинавын орнууд) дахь барилгын халаалт нь эрчим хүчний хэрэглээний томоохон хэсгийг эзэлдэг. Өвлийн улиралд халаалтын эрчим хүчний хэрэглээ эрс нэмэгддэг бөгөөд энэ нь ихэнх тохиолдолд түлшний (нүүрс, нефть, байгалийн хий гэх мэт) хэрэглээг ихэсгэдэг. Халаалт нь нүүрсхүчлийн хийн ялгаруулалтыг нэмэгдүүлдэг учир эрчим хүчний үр ашгийг сайжруулах, сэргээгдэх эрчим хүчийг ашиглах нь чухал юм. Нарны эрчим хүчийг барилга байгууламжид ашигласнаар цахилгаан болон дулааны хэрэглээ буурч, эрчим хүчний зардал ихээхэн хэмнэгддэг. Барилгын салбарт, ялангуяа хөгжингүй орнуудад эрчим хүчний хэмнэлттэй барилга гэсэн нэр томьёо, норм, стандарт, загварчлал бий болсон. Сүүлийн жилүүдэд эрчим хүчний хувьд бүрэн бие даасан, гаднаас ямар нэг нэмэгдэл эрчим хүч шаардалгүйгээр сэргээгдэх эрчим хүч ашиглан хэрэгцээгээ бүрэн хангадаг орон сууц болон оффисын барилга, хотхонууд ихээхэн баригдах болсон. Ердийн барилгатай харьцуулахад ахуйн хэрэглээндээ эрчим хүч бага зарцуулдаг барилгыг "Эрчим хүчний хэмнэлттэй барилга" гэж томьёолдог[3]. Дэлхий даяар эрчим хүчний хэмнэлттэй барилга байгууламжуудыг хөгжүүлэх чиглэлд олон улс орнууд анхаарал хандуулж байна. Жишээлбэл, Европын холбоо (EU) эрчим хүчний үр ашигтай барилга байгууламжийн стандартуудыг тогтоосон бөгөөд олон улс орон энэ чиглэлд хөрөнгө оруулалт хийж, шинэ барилгын хууль тогтоомжуудыг боловсруулж байна. Энэ нь дэлхийн дулааралтай тэмцэхэд чухал хувь нэмэр оруулах зорилготой юм. Эрчим хүчний хэмнэлттэй ногоон барилга нь хүний эрүүл мэнд хүрээлэн буй орчинд сөрөг нөлөөгүй барилгын материал ашигласан, дулаан алдагдал хамгийн бага байх хийцтэй, хур тунадас болон саарал усыг ашигласан, байшингийн эрчим хүчний үр ашгийг нэмэгдүүлэх, халаалт, хөргөлт, гэрэлтүүлэг зэрэг хэрэглээг хэмнэхэд чиглэдэг. Нарны эрчим хүчийг ашигласнаар гэрэлтүүлэг болон цахилгаан хэрэгслийн хэрэглээг нарны энерги ашиглан хангах боломжтой[4-6].

Барилгын салбарт эрчим хүчний хэмнэлт хийх нь нүүрсхүчлийн хийн (CO_2) ялгаруулалтыг бууруулах хамгийн үр дүнтэй арга хэмжээний нэг юм. Барилгын халаалт, хөргөлт, гэрэлтүүлэг, цахилгаан хэрэгсэл гэх мэт эрчим хүчний хэрэглээг багасгах нь хүлэмжийн хийн ялгаруулалтыг дорвитой бууруулдаг. Эрчим хүчний хэмнэлттэй барилга байгууламж нь эрчим хүчний хэрэглээг бууруулж, хэрэглэгчдэд өндөр зардалтай эрчим хүчний төлбөрийг багасгах боломжийг олгодог.

Энэхүү судалгааны ажлаар эрчим хүчний хэмнэлттэй барилгын цахилгаан хэрэглээг нарны цахилгаан үүсгүүрээр хангах тооцоог хийж гүйцэтгэсэн. 5-н давхар оффисын барилгыг эрчим хүчний хэмнэлттэй байхаар төлөвлөсөн бөгөөд барилгын дээвэр болон фасад хэсэгт 2 өөр төрлийн нарны цахилгаан үүсгүүрийг ашиглан эрчим хүчний үйлдвэрлэлийг тооцсон. EDGE Buildings программ ашиглан суурь барилгын цахилгаан хэрэглээ, усны

хэрэглээ гэх мэт барилгын хэрэглээнүүдийг оруулж тооцоолсон бөгөөд эрчим хүчний хэмнэлтийг харьцуулсан.

II. ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ ХЭМНЭЛТТЭЙ БАРИЛГА, ҮНЭЛГЭЭНИЙ СИСТЕМ

Барилга байгууламжийг эрчим хүчний үр ашигтай байхаар төлөвлөх нь хамгийн чухал юм. Эрчим хүчний хэмнэлттэй барилга гэдэг нь уламжлалт барилгаас илүү бага эрчим хүч хэрэглэдэг. Барилгын эрчим хүчний паспортоор “С” ангилал буюу түүнээс дээш “В”, “А” ангилалд нийцэх барилгуудыг эрчим хүчний хэмнэлттэй гэж тодорхойлдог. Эрчим хүчний хэмнэлт гэдэг нь шавхагдах эрчим хүчийг бага ашиглах; нар, салхи, газрын дулаан ба бусад сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсвэрүүд зэрэг сэргээгдэх эрчим хүчний нөөцийг барилга, байгууламжуудад түлхүү ашиглах, дулааны насос ашиглан барилгыг дулаанаар хангах зэрэг төлөвлөлтийн шийдэл юм. Мөн түүнчлэн дээрх шийдлүүдээс гадна барилгын дулаан, агааржуулалт, гэрэлтүүлэг, дуу шуугиангүй тав тухтай байдал зэрэг физик нөхцөлүүдийг сайжруулдаг орчин үеийн инженерийн ухаалаг системүүдийг ашиглах, орон нутгийн ба байгалийн барилгын материалыг ашиглах, тухайн материал нь дахин өөрөө сэргээгддэг ба дахин боловсруулалтад ордог байх шийдэл давхар тусагддаг. Барилга байгууламжийн дулаан тусгаарлалт нь хамгийн чухал хүчин зүйлсийн нэг юм. Дулаан алдагдал болон дулаан авах чадварыг сайжруулж, халаалтын болон хөргөлтийн системийн хэрэглээг багасгадаг. Сайн тусгаарлагдсан барилга нь өвлийн улиралд дулаанаа хадгалж, зун цагт хөргөхөд бага эрчим хүч зарцуулдаг. Эрчим хүчний хэмнэлттэй барилга нь эрчим хүчний хэрэглээг хянах, удирдах ухаалаг системтэй байх ёстой. Энэ нь барилгын эрчим хүчний хэрэглээг хянаж, ашиггүй хэрэглээг багасгахад тусална.

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) гэдэг нь АНУ-ын ногоон барилгын зөвлөлийн боловсруулсан эрчим хүч, байгаль орчны тэргүүлэх барилгын төлөвлөлтөнд өгдөг, байгаль орчинд ээлтэй, эрчим хүчний үр ашгийг нэмэгдүүлсэн барилга байгууламжийг төлөвлөх, барих, ашиглахад зориулагдсан олон улсын стандарт юм[7-12]. LEED нь барилгын төслийг илүү байгаль орчинд ээлтэй болоход чиглүүлдэг бөгөөд барилга байгууламжийн эрчим хүчний хэрэглээ, усны менежмент, материалын хэрэглээ, агаарын чанар зэрэг олон талын хүчин зүйлсийг харгалзан үнэлэгддэг. LEED-ийн гол зорилго нь байгаль орчны нөлөөллийг багасгах, эрчим хүчний үр ашгийг нэмэгдүүлэх, усны хэрэглээг хэмнэх, барилга байгууламжийн амьдралын чанарыг сайжруулах юм. LEED үнэлгээний систем нь хэд хэдэн түвшнээс бүрддэг бөгөөд тухайн барилга нь хэрэгжүүлсэн зөвлөмж, арга хэмжээнүүдэд үндэслэн "Certified", "Silver", "Gold", "Platinum" зэрэг түвшнүүдэд үнэлэгддэг.

1-р зураг. LEED үнэлгээний системийн гэрчилгээний шошго

LEED нь зөвхөн барилга байгууламжууд төдийгүй, инженерчлэл, дизайн, барилгын менежмент зэрэг салбарт ч ашиглагддаг.

BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) нь барилга байгууламжийн байгаль орчинд үзүүлэх нөлөөллийг үнэлэх, эрчим хүчний үр ашиг, байгаль орчны нөхцөлд ээлтэй барилгын шийдлийг дэмжих олон улсын үнэлгээний систем юм. Энэ нь барилга байгууламжийн дизайны, барилгын, ашиглалтын үеийн байгаль орчинд ээлтэй чанарыг үнэлдэг бөгөөд дэлхий даяар олон улсын хэмжээнд ашиглагддаг. BREEAM нь барилгын гүйцэтгэлийг эрчим хүчний хэрэглээ, усны менежмент, материалын ашиглалт, агаарын чанар, байгаль орчны нөлөөлөл зэрэг олон хүчин зүйлсээр үнэлж, үр ашигтай байгаль орчинд ээлтэй шийдлүүдийг дэмждэг.

2-р зураг. BREEAM үнэлгээний системийн гэрчилгээний шошго

BREEAM-ийн систем нь "Pass", "Good", "Very Good", "Excellent", "Outstanding" гэсэн түвшнүүдтэй бөгөөд тухайн барилга байгууламжийн гүйцэтгэл болон барилгын дизайны чанарыг үнэлдэг.

BREEAM нь дэлхийн хамгийн алдартай байгаль орчны үнэлгээний системүүдийн нэг бөгөөд зөвхөн шинэ барилга байгууламжид төдийгүй, давхар дахин засварласан барилга, байгууламжийг ч үнэлэх боломжтой.

EDGE (Excellence in Design for Greater Efficiencies) систем нь барилга байгууламжийн байгаль орчинд ээлтэй шийдлийг дэмжих олон улсын үнэлгээний систем бөгөөд үндсэндээ сэргээгдэх эрчим хүч, ус хэмнэх, материалын хэрэглээ зэрэг гол чиглэлээр барилгын эрчим хүчний үр ашиг, байгаль орчинд үзүүлэх нөлөөллийг сайжруулахад чиглэгддэг[7-12].

3-р зураг. EDGE үнэлгээний системийн гэрчилгээний шошго

EDGE систем нь дараах үндсэн 3 түвшнүүдтэй байдаг.

EDGE certified: Эрчим хүч, ус, материалын хэрэглээг 20%-иар хэмнэх шаардлагыг хангасан барилга байгууламжид олгодог. Энэ түвшин нь барилга байгууламжийн үндсэн байгаль орчны үр ашгийг илэрхийлнэ.

EDGE Advanced: Эрчим хүчний хэрэглээг 40%-аас багагүй хэмнэсэн барилгуудад олгодог[7-12]. Энэ түвшин нь илүү өндөр түвшний байгаль орчны үр ашгийг болон илүү дэвшилтэт технологийг барилгын шийдэлд нэвтрүүлсэн барилгуудад олгодог.

Zero Carbon: EDGE Advanced түвшинд хүрсэн барилга байгууламжуудад олгодог бөгөөд үлдсэн нүүрстөрөгчийн ялгаруулалтыг сэргээгдэх эрчим хүч эсвэл бусад арга хэрэгсэл ашиглан нөхөх шаардлагатай байдаг. Энэ нь барилга байгууламжийн нүүрстөрөгчийн ялгаруулалтыг тэг хэмжээ (net zero) хүртэл бууруулсан байгаль орчны шийдлийг илэрхийлдэг.

Эдгээр 3 түвшин нь барилга байгууламжийн эрчим хүчний үр ашгийг дээшлүүлж, барилга байгууламжуудын амьдралын чанарыг сайжруулах, байгаль орчны нөлөөллийг бууруулах, мөн барилга ашиглалтын зардлыг бууруулах зорилготой[7-12].

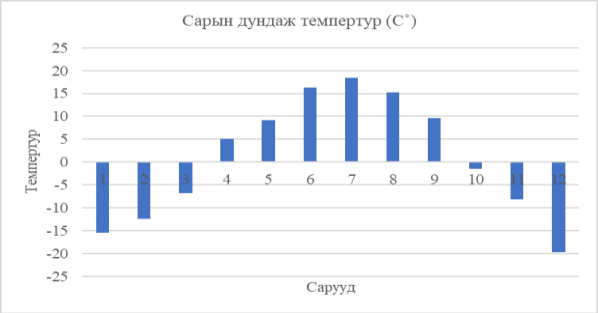
III. СУДАЛГААНЫ ОБЪЕКТ

Энэхүү судалгааны ажлын объектоор нь Хан-Уул дүүрэг, 25-р хороонд байрлах 805.56 м^2 талбайтай 5-н давхар оффисын барилгыг эрчим хүчний хэмнэлттэй байхаар төлөвлөсөн. Уг барилга өргөргийн 47.864766º, уртрагийн 106.78516º-т байрладаг.

4-р зураг. Объектын харагдах байдал

Нарны илчийг барилгын дотор орон зайд бүрэн нэвтрүүлж дулааны эх үүсвэр, эрүүл ахуйн нөхцөл бүрдүүлж ашиглах зорилгоор барилгын үндсэн өрөө тасалгаануудын цонхыг өмнө зүгт харуулж байрлуулсан.

Улаанбаатар хотын өвлийн үнэмлэхүй бага температур нь - 32.9 °C хүрдэг ба үүл багатай нарлаг өдрүүдтэй. Харин үнэмлэхүй их температур нь 32.4 °C дулаан, бороотой, гэнэтийн үед мөндөртэй байдаг. Дундаж чийгшилт нь 64.7 %, жилийн дундаж хур тунадас нь 270.4 мм байна.



5-р зураг. Сарын дундаж температур

Лю, Жордан, Клейн нарын шилжүүлэн тооцох аргыг ашиглан нарны нөөцийн тооцоог хийж гүйцэтгэсэн.

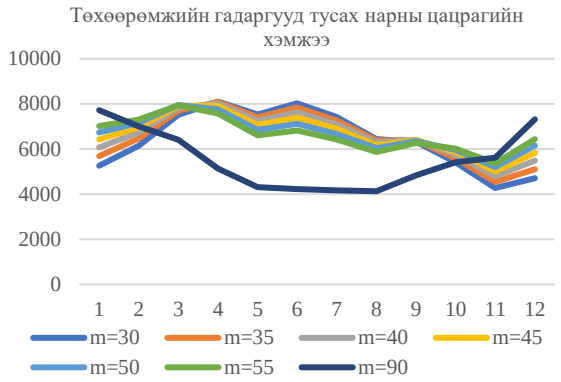
Сар бүрийн 15-ний өдрийг тухайн сарын төлөөлөх өдрүүд болгон сонгож, нарны төхөөрөмжийн газрын гадаргуутай үүсэх өнцгийг m=35º, 40º, 45º, 50º, 55º үед тооцоолсон ба m=50º үед налуу гадаргуу дээр тусах нарны цацраг хамгийн их учир 50 градусын налалттайгаар нарны цахилгаан үүсгүүрүүдийг суурилуулсан. Харин фасадны системд төхөөрөмжийн газрын гадаргуутай үүсэх өнцгийг m=90º үед тооцоолсон.

35º, 40º, 45º, 50º, 55º, 90º ҮЕ ДЭХ НАЛУУ ГАДАРГУУ ДЭЭР ТУСАХ НАРНЫ НИЙЛБЭР ЦАЦРАГ

1-Р ХҮСНЭГТ

№	m=35°	m=40°	m=45°	m=50°	m=55°	m=90°
Төхөөрөмжийн гадаргууд тусах нарны цацрагийн хэмжээ, Q_t, Вт/м^2						
1	5687.2	6075.4	6428.6	6743.9	7018.9	7724.8
2	6461.1	6736.4	6969.6	7158.8	7302.6	7005.9
3	7699.5	7835.2	7920.0	7953.2	7934.4	6412.2
4	8084.5	8022.9	7915.6	7763.3	7567.3	5140.4
5	7401.2	7247.2	7062.2	6847.4	6604.5	4315.6
6	7844.3	7631.9	7388.8	7116.9	6818.2	4224.6
7	7266.6	7094.5	6894.4	6667.8	6416.3	4167.4
8	6377.6	6290.0	6175.1	6033.9	5867.4	4130.3
9	6385.3	6409.0	6397.9	6352.2	6272.2	4835.7
10	5585.6	5743.2	5867.4	5957.4	6012.4	5422.6
11	4543.1	4789.4	5009.3	5200.9	5362.9	5616.5
12	5107.4	5486.5	5835.6	6152.0	6433.1	7322.1
Дүн	78443.9	79362.0	79865.1	79948.3	79611.0	66318.5

Нарны цахилгаан үүсгүүрүүдийг урд зүг рүү харуулан байрлуулсан учир азимутын өнцгийг 0º гэж тооцоог хийсэн.



6-р зураг. Төхөөрөмжийн гадаргууд тусах нарны цацрагийн хэмжээ болон газрын гадаргуутай үүсэх өнцгийн хамаарал

А. Цахилгаан ачааллын тооцоо

Оффисын барилгын цахилгаан ачааллын тооцоог Хүснэгт 2-т үзүүлэв.

ХОНОГИЙН ЦАХИЛГААН АЧААЛАЛ

2-Р ХҮСНЭГТ

№	Цахилгаан хэрэгсэл		Нэгжийн хүчин чадал /кВт/	Тоо ширхэг	Нийт чадал /кВт/	Хоногт ажиллах /цаг/	7 хоногт ажиллах /цаг/	Өдрийн хэрэглээ /кВт.ц/	Сарын хэрэглээ /кВт.ц/	Жилийн хэрэглээ /кВт.ц/
1	гэрэлтүүлэг	led гэрэл	0.1	120	12	12	84	144	4320	51840
2		led гэрэл	0.1	20	2	8	56	16	480	5760
3	халаалт	сэнс	0.3	5	1.5	12	84	18	540	6480
4	агааржуулалт	агааржуулагч	0.9	5	4.5	12	84	54	1620	19440
5	оффисын цахилгаан хэрэгсэл	сканер	0.2	12	2.4	3	21	7.2	216	2592
6		хувиргагч машин	0.25	12	3	3	21	9	270	3240
7		процессор	0.085	96	8.16	10	70	81.6	2448	29376
8		хуруунний хээ унших	0.05	4	0.2	4	28	0.8	24	288
9		телефон	0.02	12	0.24	3	21	0.72	21.6	259.2
10		проектор	0.455	9	4.09	3	21	12.285	368.55	4422.6
11		TV	0.15	5	0.75	4	28	3	90	1080
12		дэлгэц	0.35	96	33.6	10	70	336	10080	120960
13		CCTV камер	0.04	30	1.2	24	168	28.8	864	10368
14	хэрэглэгчний цахилгаан хэрэгсэл	богино долгионы зуух	0.9	5	4.5	2	14	9	270	3240
15		кофе чанагч	0.6	5	3	4	28	12	360	4320
16		үс цэвэршүүлэгч	0.2	5	1	4	28	4	120	1440
17		Хөргөгч	0.8	5	4	12	84	48	1440	17280
18	бусад	жижүүрийн зураг	0.4	1	0.4	24	168	9.6	288	3456
19		автомат тоног төхөөрөмжүүд	0.3	1	0.3	24	168	7.2	216	2592
	Нийт							**801.205**	**24036.15**	**288433.8**

Оффисын барилгын цахилгаан ачааллын хоногийн ачааллын графикийг Зураг 7-д үзүүлэв.

7-р зураг. Хоногийн цахилгаан ачаалал

Хоногийн цахилгаан ачааллын графикаас харахад 8 цагаас хойш хэрэглээ өсөж эхлэх бөгөөд өдрийн 12-13 цагийн хооронд өдрийн цайны цагаар хэрэглээ өснө гэж төлөвлөсөн.

Өдөрт нийт 801.205 кВт.ц эрчим хүч хэрэглэдэг ба сарын хэрэглээ нь 24.036 МВт.ц, жилийн хэрэглээ нь 288.43 МВт.ц эрчим хүч хэрэглэж байна.

IV. ТОНОГ ТӨХӨӨРӨМЖИЙН ТООЦОО

А.Нарны цахилгаан үүсгүүрийн сонголт

Объектын дээвэр дээр төвийн шугамтай зэрэгцээ ажиллахаар БНХАУ-ын Jinko solar компанийн олон талст цахиурын нарны зайн үүсгүүрийг сонгон авлаа.

Объектын фасад дээр First Solar компанийн нимгэн хальсан кадми теллурид (CadTel) нарны зайн үүсгүүрийг сонгосон[13].

Нимгэн хальсан нарны зайн үүсгүүр нь удаан эдэлгээтэй, халуун цаг агаарт өндөр үр ашигтай, уламжлалт цахиуран нарны зайн үүсгүүртэй харьцуулахад хөнгөн жинтэй гэдгээрээ давуу талтай.

Дээврийн болон фасадны нарны цахилгаан үүсгүүрийн үзүүлэлтүүдийг Хүснэгт 3-т үзүүлэв.

ДЭЭВРИЙН БОЛОН ФАСАДНЫ НАРНЫ ЦАХИЛГААН ҮҮСГҮҮРИЙН ҮЗҮҮЛЭЛТҮҮД

3-Р ХҮСНЭГТ

Нарны цахилгаан үүсгүүр		
Нарны хавтангийн төрөл	Моно кристал	Thin film
Нарны хавтангийн загвар	JKM550M	First solar
Нэрлэсэн хүчдэл, Вт	550	85
Хамгийн их чадлын хүчдэл (V_{mpp})	40.9	48.3
Хамгийн их чадлын гүйдэл (I_{mpp})	13.45	1.76
Нээлттэй хэлхээний хүчдэл (V_{oc})	49.62	60.2
Богино залгааны гүйдэл (I_{sc})	14.03	0.49
Нарны хавтангийн АҮК, %	21.29 %	8 %
Нарны хавтангийн хэмжээ, (урт*өргөн *өндөр)	2278*1134 *40	1300*1100 *7
Нарны хавтангийн жин, кг	27 кг	11.8 кг

Инвертерийн оролтын хүчдэлийн түвшингээр PV системийн дэлгэцийн нэг гинжинд холбогдох дэлгэцийн тоог тодорхойлсон.

Зэрэгцээгээр холбогдох гинжний тоо

$$n_{зэрэгцээ} = Pmax \cdot \frac{10^3}{Po*n_{цуваа}}; \quad (1)$$

PV системд орох нийт дэлгэцийн тоо

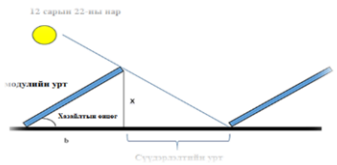
$$N_{PV}=n_{зэрэгцээ} \cdot n_{цуваа}; \quad (2)$$

PV-системийн нийт чадал

$$P_{pv} = P_0 * n_{цуваа} * n_{зэрэгцээ}; \quad (3)$$

Б. Сүүдэрлэлтийг тооцоо

Нарны өндөр хамгийн бага байх буюу нарны эрчим хүчний системийн сүүдэрлэлтийн нар гийгүүлэх хугацаа хамгийн байх өдөр буюу 12-р сарын 22-ны өдрийг сонгон авч тооцооллоо.



8-р зураг. Нарны дэлгэцийн сүүдэрлэлт

$$\beta = 90 - \varphi - \delta = 90 - 47.88 - 23.45 = 18.7^0$$

$$h = L \cdot \sin\alpha = 2.278 \cdot \sin(50) = 1.745м$$

$$Z = \frac{h}{\tan\beta} = \frac{1.745}{\tan(18.7)} = 5.15м \approx 5м$$

Үүнд: l – Нарны дэлгэцийн урт (2278 мм), β – Нарны өнцөг (мм), α – Налалтын өнцөг (50^0), φ – Тухайн орон нутгийн өргөрөг (47.88^0) Дээрх тооцоогоор дээвэр дээр байршуулсан нарны дэлгэцийн хоорондох зай 5 м үед бие биеэ сүүдэрлэхгүй.

В. Инвертерийн тооцоо

Инвертер нь тогтмол гүйдлийг хувьсах гүйдэл болгодог төхөөрөмж бөгөөд ачааллын хэлбэрээс нь хамааруулж сүлжээний инвертер, бие даасан системд зориулсан инвертер, хосолмол инвертер гэж ангилдаг. Энэхүү систем нь төвийн эрчим хүчний системтэй зэрэгцээ ажиллах учир on-grid төрлийн инвертер сонгов. Инвертер сонгохдоо бүх цахилгаан тоног төхөөрөмжийг зэрэг залгах үеийн хэрэглээг дааж байхаар сонгосон.

Барилгын дээвэр дээрх нарны цахилгаан системийн оролтын гүйдэл, хүчдэл, чадлыг дараах томьёогоор оллоо. Нийт суурилагдсан хүчин чадал нь 63.262 Вт.

$$I_{дээвэр} = n_{зэрэгцээ}*I = 5*13.45A = 67.25\ A$$
$$U_{дээвэр} = n_{цуваа}*U = 23*40.9 = 940.7\ B$$
$$P_{дээвэр} = I*U = 67.25*940.7 = 63262\ Вт$$

*Барилгын фасад дээр*х нарны оролтын гүйдэл, хүчдэл, чадлыг дараах томьёогоор олсон. Нийт суурилагдсан хүчин чадал нь 14.2 кВт.

$$I_{фасад} = n_{зэр}*I = 8*1.76A = 14.08\ A$$
$$U_{фасад} = n_{цув}*U = 21*48.3 = 1014.3\ B$$
$$P_{фасад} = I*U = 14.08*1014.3 = 14281\ Вт$$

Доорх хүснэгтэд дээвэр болон фасаданд шаардагдах дэлгэцийн тоо, сүүдэрлэлтийн зай, суурилагдсан хүчин чадал зэргийг Хүснэгт 4-т харуулав.

ШААРДАГДАХ ДЭЛГЭЦИЙН ТОО, ЗАЙ, ТАЛБАЙ, СУУРИЛАГДСАН ХҮЧИН ЧАДАЛ

4-Р ХҮСНЭГТ

Байрлал	Дээвэр	Фасад
Өнцөг	50^0	90^0
Нэрлэсэн чадал, P_0	550 Вт	85 Вт
Зэрэгцээгээр холбогдох гинжний тоо, $\mathbf{n}_{зэрэгцээ}$	5 ш	8 ш
Цуваа холбогдох гинжний тоо, $\mathbf{n}_{цуваа}$	23 ш	21 ш
PV системд орох нийт дэлгэцийн тоо, N_{PV}	115 ш	168 ш
PV-системийн нийт чадал, $\mathbf{P_{pv}}$	63.2 кВт	14.2 кВт
Сүүдэрлэлтийн зай, м	5	0

Дээвэр дээрх нарны системийн оролтын параметрүүд дээр тулгуурлан 20-35% өсгөж барилгын дээвэр дээр 75 кВт чадалтай Growatt инвертер сонгов.

Фасадан дээрх нарны системийн оролтын параметрүүд дээр тулгуурлан 20-35% өсгөж барилгын фасад дээр 18 кВт чадалтай инвертер сонгов. Дээврийн болон фасадны инвертерийн үзүүлэлтийг Хүснэгт 5-т үзүүлэв.

ДЭЭВРИЙН БОЛОН ФАСАДНЫ ИНВЕРТЕРИЙН ҮЗҮҮЛЭЛТ

5-Р ХҮСНЭГТ

Нэр	Growatt Min 3000TL-X	Growatt Min 3000TL-X
Оролтын хамгийн их чадал	75 кВт	18 кВт
Оролтын хамгийн их хүчдэл V_{DC}	1100 В	1000 В
Оролтын хамгийн их гүйдэл	80.5 А	20 А
Гаралтын номинал чадал	50 кВт	14.3 кВт
Гаралтын хүчдэл	200-1000 В	160-1000 В
Давтамж	50 Гц / 60Гц	50 Гц / 60Гц
Чадлын коэффициент	0.99	0.99
Хамгийн их чадлын АҮК	99%	99.5%
Орчны температурын хязгаар	-25^0C~$+60^0$C	
Хэмжээ(урт*өргөн*өндөр)	580*435*230 мм	480*448*200 мм

V. ЭРЧИМ ХҮЧ ҮЙЛДВЭРЛЭЛИЙН ТООЦОО

Барилгын нарны дэлгэцийн системийн өдөр үйлдвэрлэх цахилгаан эрчим хүчний хэмжээг дараах байдлаар тооцно[14].

$$Э_{өдөр} = P_{дэл} * t_{Бн} * \eta_{бох} * \eta_{инв} * \eta_{темп} * \eta_{каб}\ ; \quad (4)$$

Үүнд: $P_{дэл}$ -Дээвэр дээрх суурилуулсан нарны дэлгэцийн бүрэн чадал, $t_{Бн}$ -Тухайн өдрийн бүтэн нарны цагийн тоо, цаг

$$t_{Бн} = \frac{Q_{өдөр}(Вт*цаг)}{1000(Вт)}; \quad (5)$$

$\eta_{бох}$-Дэлгэцийн бохирдлогыг тооцсон засварын коэффициент, $\sim 0.9 \div 0.95$, $\eta_{инв}$-Инверт орын ашиг үйлийн коэффициент, 0.982, $\eta_{темп}$-Дэлгэцийн температурын засварын коэффициент ~ 0.97, $\eta_{каб}$ -Холболтын утас, кабель дээрх эрчим хүчний алдагдлыг тооцсон засварын коэффициент $\sim 0.95 \div 0.98$

Дээрх томьёо ашиглан жилийн тухайн сарын өдөрт үйлдвэрлэх цахилгаан эрчим хүчийг тооцно. Тооцооноос гарсан үр дүнг тухайн сарын харгалзах өдрийн тоогоор үржүүлэн тухайн сард үйлдвэрлэх нийт цахилгаан эрчим хүчийг тооцно. Энэ маягаар жилд үйлдвэрлэх нийт эрчим хүчийг олно.

ЦАХИЛГААН ЭРЧИМ ХҮЧ ҮЙЛДВЭРЛЭЛИЙН ТООЦОО

6-Р ХҮСНЭГТ

Сар	$t_{бн}$	Монокристалл (дээвэр)		Thin film(фасад)	
		$Э_{өдөр}$ кВт.ц/өдөр	$Э_{сар}$ кВт.ц/сар	$Э_{өдөр}$ кВт.ц/өдөр	$Э_{сар}$ кВт.ц/сар
1	6.7	361.09	11193.85	72.815	2257.27
2	7.1	383.308	10732.64	77.295	2164.268
3	7.9	425.838	***13200.99***	85.871	***2662.017***
4	7.7	415.674	12470.24	83.822	2514.661
5	6.8	366.632	11365.59	73.932	2291.906
6	7.1	381.064	11431.93	76.842	2305.283
7	6.6	357.015	11067.49	71.993	2231.791
8	6.3	323.076	10015.3	65.149	2019.630
9	6.3	340.118	10203.54	68.585	2057.574
10	5.9	318.98	9888.384	64.323	1994.021
11	5.2	278.476	***8354.298***	56.155	***1684.668***
12	6.1	329.397	10211.32	66.42	2059.143
Нийт		4280.668	*130135.572*	863.202	*26242.232*
		130135.572+26242.232=156377.804 /жил/			

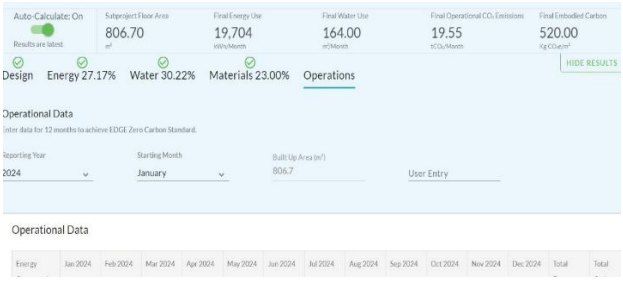
Дээрх хүснэгтээс харахад дээвэр дээр байрлуулсан НЦС нь фасадан дээрх НЦС-ээс илүү цахилгаан үйлдвэрлэж байгаа бөгөөд 3 сард ба 13.2 МВт.ц, харин хамгийн бага нь 11 сард ба 8.3 МВт.ц эрчим хүч үйлдвэрлэж байна. Нийт эрчим хүч үйлдвэрлэлийн 16%-ийг фасадны систем, 74%-ийг дээврийн систем үйлдвэрлэж байна.

Дээврийн систем болон фасадны системийн эрчим хүч үйлдвэрлэлийн харьцуулалтыг Зураг 9-д харуулав.

9-р зураг. Эрчим хүч үйлдвэрлэлийн харьцуулалт

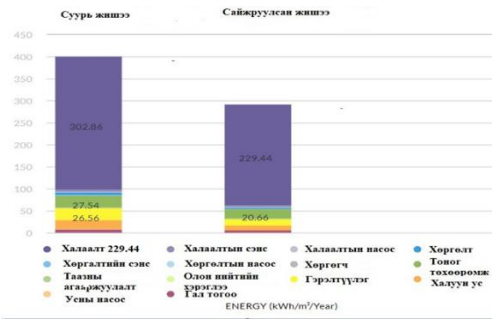
VI. ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ ХЭМНЭЛТИЙН ТООЦОО

Барилгын хувьд эрчим хүчний хэмнэлтийг EDGE программ дээр хийж гүйцэтгэсэн. EDGE программ нь эрчим хүчний хэмнэлтийг урьдчилсан байдлаар тодорхойлох боломжтой программ хангамж юм. Энэхүү программын үр дүнд эрчим хүчний хэмнэлт нь 27.71%, усны хэмнэлт нь 30.22%, материалын хэмнэлт нь 23% гарсан. Доорх зурагт Edge программын үр дүнг харуулав.



10-р зураг. Edge программын үр дүн

EDGE BUILDINGS программ дээрх цахилгаан хэрэглээ нь гар аргаар тооцсон цахилгаан ачааллын тооцооны 3 сарын үетэй таарсан. Программ дээр суурь барилгын цахилгаан хэрэглээ усны хэрэглээ гэх мэт барилгын хэрэглээнүүдийг харуулсан. Энэхүү суурь хэрэглээн дээр суурилан эрчим хүчний хэмнэлтийг тооцсон. Программ дээр дулааны хэрэглээг төвийн системтэй холбогдсон гэж тооцов.



11-р зураг. Эрчим хүчний хэмнэлтийн үр дүн

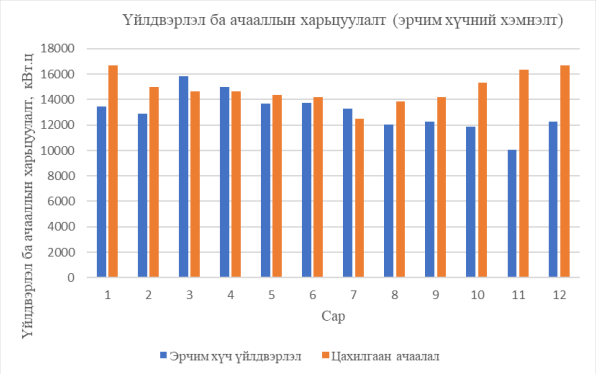
Дээрх графикт суурь барилгын жишээ болон сайжруулсан барилгын харьцуулалт харагдаж байна. Эрчим хүчний хэмнэлтийн хувьд халаалт хөргөлтийн систем болон гэрэлтүүлгийн системийн эрчим хүчний хэрэглээг хянаж, мөн сэргээгдэх эрчим хүч ашигласнаар эрчим хүчний хэмнэлт 27.71%-д хүрсэн.

ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ ХЭМНЭЛТ

7-Р ХҮСНЭГТ

Хугацаа	Эрчим хүчний хэмнэлтгүй		Эрчим хүчний хэмнэлттэй үед	
	Цахилгаан хэрэглээ	Төлбөр	Цахилгаан хэрэглээ	Төлбөр
1 хоног	794.005	138,950.87	555.803	97265.61
1 сар	23820.15	4,168,526.2	16674.105	2917968.37
1 жил	**285841.8**	50,022,175	**200089.3**	35015620.5
Нийт хэмнэлт			85752.54	*15,006,554.5*
Эрчим хүч хэмнэх хувь			**27.71%**	**27.71%**

Эрчим хүчний хэмнэлтийг цахилгаан ачаалалтай харьцуулан эрчим хүчний хэмнэлтийг мөнгөн дүнгээр тооцсон бөгөөд жилдээ нийт 15,006,554.5 төгрөг хэмнэж байна. Нийт эрчим хүч үйлдвэрлэл нь эрчим хүчний хэмнэлттэй үед 60-100% хүртэл цахилгаан хэрэглээг хангаж байна. Эрчим хүч үйлдвэрлэлийг цахилгаан ачаалалтай харьцуулсан графикийг зураг 12-т харуулав.



12-р зураг. Хоногийн цахилгаан ачаалал болон үйлдвэрлэлийн харьцуулалт

Эдийн засгийн тооцоо

Аливаа төслийг гүйцэтгэхийн өмнө эдийн засгийн үр ашгийн тооцоог хийх шаардлагатай ба үүний үр дүнд хөрөнгө оруулах хэмжээ, суурилуулалт болон ашиглалтын зардал, эргэн төлөгдөх хугацаа зэргийг тодорхойлох юм. Нарны цахилгаан систем нь 312,854,290 төгрөг бөгөөд үүн дээр суурилуулалтын зардал 90,000,000 төгрөг нэмэгдэж нийт 402,854,290 болж байна. Нарны цахилгаан системийн жилд үйлдвэрлэх эрчим хүчний хэмжээ 156 МВт.ц харин өөрийн цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээ жилд 261.72 МВт.ц гэж тооцоологдсон болно.

НАРНЫ ЦАХИЛГААН СИСТЕМИЙН ХӨРӨНГӨ ОРУУЛАЛТЫН ТООЦОО

ХҮСНЭГТ 8.

№	Төхөөрөмж	Нэгж	Тоо ширхэг	Үйлдвэр	Материалын зардал	
					Нэгж үнэ (төгрөг)	Нийт үнэ (төгрөг)
Системийн үндсэн тоног төхөөрөмж						
1	Монокристалл PV	ш	115	JINKO	799,000	91,885,000
2	Thin film	ш	168	FIRST SOLAR	425,000	71,400,000
3	Инвертер	ш	1	CHIMEI	18,900,000	18,900,000
4	Инвертер	ш	1	COLORCHEM	12,250,000	12,250,000
Холболт хийх кабель утас, дагалдах хэрэгсэл						
	Цуглуулах хайрцаг	ш	2		1500000	3,000,000
8	DC Кабель	м	2000	JZD	12,000	24,000,000
9	AC Кабель	м	2500	JZD	16,000	40,000,000
10	холбогч	м	600	JZD	7,500	4,500,000
11	Кабель хамгаалах хоолой	м	2400	OEM	6,250	15,000,000
Суурийн холболтын эд анги						
12	Анкерийн боолт	ш	1000	Хятад	4000	4,000,000
13	Ган боолт	кг	200	Хятад	3000	600,000
14	Холбогч дэлбээ	кг	400	Хятад	9000	3,600,000
15	Холбогч хийцүүд	кг	450	Хятад	3000	1,350,000
16	Суурь төмөр	ш	1200	Хятад	9500	11,400,000
17	Булан төмөр	кг	800	Хятад	3000	2,400,000
18	Эрэг боолт	кг	150	Хятад	2200	330,000
19	Даравч шайб	кг	100	Хятад	3100	310,000
20	Бетон суурь	ш	110	Хятад	58000	6,380,000

Сэргээгдэх эрчим хүчний тухай хуулийн 11 дүгээр зүйл, Сэргээгдэх эрчим хүчний үнэ, тарифын 11.1.3-д зааснаар нарны эрчим хүчний үүсгүүрээр нийлүүлэх 1кВт.ц цахилгаан эрчим хүчийг 0.12 ам.долларoор авна. Долларын ханшийг 12-р сарын 24-ний байдлаар 1 ам.доллар 3500 төгрөгтэй тэнцүү байхаар тооцсон. Хөрөнгө оруулалтын санхүү эдийн засгийн үзүүлэлтүүдийг тодорхойлохын тулд системийн ашиглалтын хугацаан цэвэр мөнгөн урсгалын хэмжээг тодорхойлсон бөгөөд Хүснэгт 9-д харуулав.

НАРНЫ ЦАХИЛГААН СИСТЕМИЙН ЦЭВЭР МӨНГӨН УРСГАЛ ТООЦОО

ХҮСНЭГТ 9

№	Үзүүлэлт	Нэгж	Тооцооны үр дүн
1	Үйлдвэрлэсэн цахилгаан	МВт.цаг	156377.8
2	Барилгын цахилгаан ачаалал	МВт.цаг	261.72
3	Жилд төлөх цахилгааны төлбөр	мянган төг	36,640.11
4	Төлбөрийн хэмнэлт	%	57.2
5	Төлбөрийн хэмнэлтээс олох орлого	мянган төг	21,046.8
6	Ашгийн татвар	мянган төг	2,104
7	Цэвэр ашиг	мянган төг	18,942
8	Цэвэр мөнгөн урсгал	мянган төг	63,750

Барилгын материалын үнийн судалгааг EDGE Buildings программ ашиглан тооцсон.

VII. Дүгнэлт

Эрчим хүчний хэмнэлттэй барилгын цахилгаан хэрэглээг нарны цахилгаан үүсгүүрээр хангах ажил хийлээ. Энэ ажил нь эрчим хүчний хэрэглээ өсөн нэмэгдэхийн эрчим хүчний хэмнэлттэй барилгыг судалж нэвтрүүлэх зорилготой.

Улаанбаатар хотын Хан уул дүүргийн 25-р хороонд 805.56 м^2 талбайтай 5-н давхар оффисын барилгыг эрчим хүчний хэмнэлттэй байхаар төлөвлөн тооцоог хийж гүйцэтгэсэн. Цахилгаан хэрэглээний хувьд төвийн эрчим хүчний системтэй зэрэгцээ ажиллах дээвэр болон фасадан дээр нарны цахилгаан системтэй байхаар төлөвлөсөн. Цахилгаан ачааллын тооцоо, нарны цахилгаан үүсгүүрийн сонголт, дээврийн нарны цахилгаан үүсгүүр хоорондын сүүдэрлэлтийн тооцоо, эрчим хүчний үйлдвэрлэлийн тооцоо, эдийн засгийн тооцоог хийж гүйцэтгэсэн.

- Дээвэр дээр 550 Вт чадалтай, 115 ш, нийт 63.2 кВт чадалтай монокристал НЦС, фасадан дээр 85 Вт чадалтай, 168 ш, нийт 14.2 кВт чадалтай нимгэн үеийн нарны зайн системийг сонгосон.
- Дээвэр дээр байршуулсан нарны дэлгэцийн хоорондох зай 5 м байх үед бие биеэ сүүдэрлэхгүй болохыг тооцоолсон.
- Дээврийн системд Growatt компаны 75 кВт чадалтай, фасадны системд 18 кВт чадалтай онгрид инвертерийг сонгосон бөгөөд инвертерүүд нь өөрийн эрчим хүч үйлдвэрлэлийг хянах апплекишинтайгаар давуу талтай.
- Дээвэр болон фасадан дээрх НЦС-үүд нь жилд нийт 156 мВт.ц эрчим хүч үйлдвэрлэх бөгөөд энэ нь нийт хэрэглээний 60-80% буюу нийт эрчим хүч үйлдвэрлэлийн 16%-ийг фасадны систем, 74%-ийг дээврийн систем үйлдвэрлэж байна.
- Нарны цахилгаан системийн эдийн засгийн тооцоог хийж гүйцэтгэсэн бөгөөд нийт 402,854,290 болж байна. Эдийн засгийн тооцооноос энгийн эргэн төлөгдөх хугацаа ЭТХ=17.7 жил, дискаунт тооцсон эргэн төлөгдөх хугацаа ДЭТХ=37 жил, дотоод өгөөжийн хувь IRR=3.82% гарсан.
- EDGE building программыг ашиглан эрчим хүчний хэмнэлтийг харьцуулсан бөгөөд эрчим хүчний хэмнэлт нь 27.71% (Хүснэгт 7), усны хэмнэлт нь 30.2 %, барилгын материалын хэмнэлт нь 23% байна. Энэ нь EDGE гэрчилгээжүүлэлтийн гэрчилгээжүүлсэн үнэлгээг авах боломж бүрдэж байна. Эрчим хүчний хэмнэлтийг мөнгөн дүнгээр тооцож үзэхэд жилдээ нийт 15 сая төгрөг хэмнэж байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] https://www.worldometers.info/
[2] https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2024
[3] Matthaios santamouris, green commercial buildings save energy, nat. Sustainability, 1 (11) (2018), pp. 613-614, 10.1038/s41893-018-0177-y
[4] Н.Энхбаяр, “Ногоон барилга барилгын салбарын ирээдүй,” ногоон хөгжил, p. 6, 2024.
[5] О.Рэнцэн бат, “Эрчим хүчний хэмнэлт,” Улаанбаатар, 2024.
[6] Эрчим хүчний хэмнэлттэй барилга, Улаанбаатар, 2004.
[7] P.Patil, A.Avasthi, V.Kundlikar, S.Nanaware, P.Joshi, Comparative Study of GRIHA, LEED, BREEAM Rating Systems for Green Building IJARSCT ISSN (Online) 2581-9429,

International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology, Volume 2, Issue 1, 2022
[8] Anna Piętocha, The breeam, the leed and the dgnb certifications as an aspect of sustainable development, Acta Sci. Pol. Architectura 23 (2024), 121–133 aspa.sggw.edu.pl ISSN 1644-0633 (suspended) eISSN 2544-1760 DOI: 10.22630/ASPA.2024.23.9
[9] Б.Цолмон, Барилгын эрчим хүчний үнэлгээ ба гэрчилгээ, Улаанбаатар , 2021.
[10] U. M. Student, “LEED certification review report,” 2022.
[11] N. Fox, “The value of BREEAM,” berkeley, 2010.
[12] https://www.edge-cert.org/
[13] O. J. Adeleke, “comprehensive guide to solar panel types,” 2021.
[14] З.Цэрэндорж, Ц.Эрдэнэтуяа, Сэргээгдэх эрчим хүчний хэрэглээ ба энергийн хуримтлуур, Улаанбаатар хот, 2016 он.
[15] https://edgebuildings.com/

НАРНЫ ЗАЙН СИСТЕМИЙН СҮҮДЭРЛЭЛТИЙН НӨЛӨӨЛЛИЙГ СУДЛАХ

Ч.Даваадорж[1], Б. Мөнхшүр[1], Х. Сарангэрэл[1]
[1]Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, ЭХИС, Шинэ, Сэргээгдэх Эрчим Хүчний Салбар
**Холбогдох зохиогчийн и-мэйл хаяг: dwdrjchlnbt@gmail.com, bmonhshur829@gmail.com sarangerel@must.edu.mn*

***Хураангуй*. Нарны фотоцахилгаан (PV) системийн гүйцэтгэлд сүүдэрлэлтээс үүдэлтэй эрчим хүчний алдагдал ихээхэн нөлөөлдөг. Энэхүү судалгаанд PV модулиудын хэсэгчилсэн сүүдэрлэлтийн нөлөөг судалж, эрчим хүчний гарц хэрхэн өөрчлөгдөхийг шинжилсэн. Нарны зайн хавтангууд үүл, барилга байгууламж, мод зэрэг гаднын биетээс хамааран хэсэгчлэн сүүдэрт автдаг нь системийн нийт бүтээмжийг бууруулдаг. Судалгааны хүрээнд MATLAB/Simulink орчинд 4 цуваа, 4 зэрэгцээ холбогдсон нийт 16 нарны зайн модулиас бүрдэх PV системийг загварчилж, нарны цацраг ба температурын өөрчлөлтийн нөлөөг тооцоолов. Симуляцийн үр дүнгээс харахад 50%-иас дээш сүүдэрлэлт үүссэн үед гаралтын чадал огцом буурч, системийн нийт бүтээмжид сөргөөр нөлөөлж байгааг тогтоолоо. Судалгааны үр дүн нь нарны зайн системийн байрлалыг оновчлох, сүүдэрлэлтээс сэргийлэх зохион байгуулалтын аргачлал боловсруулахад чухал ач холбогдолтой. Цаашид нарны хавтангуудын сүүдэрлэлтийн нөлөөг бууруулах, системийн үр ашгийг нэмэгдүүлэх боломжит технологиудыг судлах шаардлагатай.**

***Түлхүүр үг*. Нарны эрчим хүч, нарны зай, фотоцахилгаан үүсгүүр, сүүдэрлэлтийн эффект, MATLAB/Simulink, эрчим хүчний үйлдвэрлэл**

I. УДИРТГАЛ

Нарны эрчим хүч нь сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсвэрүүдийн дунд олон давуу талтай. Эрчим хүч үйлдвэрлэх, ашиглах, засвар үйлчилгээ хийхэд хялбар байдлаас гадна байгаль орчинд ээлтэй, хямд төсвөөр эрчим хүч үйлдвэрлэх боломжийг олгодог. Технологийн хөгжлийн үр дүнд нарны эрчим хүч нь улам бүр өргөжиж, дэлхий даяар түгээмэл хэрэглэгдэж байгаа бөгөөд энэ нь эдийн засагт, байгаль орчинд чухал хувь нэмэр оруулж байна. [1]. 2022 онд дэлхийн цахилгаан эрчим хүчний үйлдвэрлэлийн 30% орчим нь сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсвэрүүдээс бүрдсэн гэж олон улсын эрчим хүчний байгууллагууд мэдээлсэн. Энэ үзүүлэлт нь сэргээгдэх эрчим хүчний үйлдвэрлэлийн хувь хэмжээ сүүлийн жилүүдэд тасралтгүй нэмэгдэж байгааг илтгэж байна.

Эрчим хүчний эрэлт хэрэгцээ байнга өсөн нэмэгдэж байгаа энэ үед сэргээгдэх эрчим хүчний нөөцийг хөгжүүлэх, ашиглах судалгаа улам бүр нэмэгдэж байна. Нарны цахилгаан үүсгүүр (PV) болон нарны дулаан (параболик тэвш, нарны цамхаг) гэсэн 2 технологиор нарны энергийг ашиглаж байна. Нарны цахилгаан үүсгүүр нь PV технологи ашиглан нарны гэрлийг шууд цахилгаан эрчим хүч болгон хувиргадаг бөгөөд энэ нь нарны эрчим хүчийг хялбар, цэвэр, үр ашигтайгаар ашиглах боломжийг олгодог. Тийм, сүүлийн жилүүдэд нарны цахилгаан үүсгүүрүүдийн суурилуулалт ихээхэн нэмэгдэж байна. Нарны эрчим хүчний ашиглалт, үйлдвэрлэл, үнэ ханшийн хувьд илүү хямд, үр ашигтай болж байгаа болон байгаль орчны хамгаалалтад оруулж буй хувь нэмэр нь олон улсын түвшинд анхаарал татаж байгааг илэрхийлж байна.

Нарны эрчим хүч нь цэвэр, сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсвэр бөгөөд хүлэмжийн хийн ялгарлыг бууруулах, ногоон эрчим хүчний хэрэглээг нэмэгдүүлэх зорилгод нийцэж байна.

Нарны цахилгаан үүсгүүрийг суурилуулахад гарах зардал нь сүүлийн жилүүдэд эрс буурч, технологийн хөгжил нь үр ашигтай байдал, хүчин чадалд нь ахиц дэвшил авчирсан. Түүнчлэн, засгийн газраас тодорхой урамшуулал, дэмжлэг үзүүлж байгаа нь нарны эрчим хүчний хэрэглээг нэмэгдүүлэхэд чухал үүрэг гүйцэтгэж байна.

Нарны цахилгаан үүсгүүрийн ашиглалттай холбоотой нэгэн чухал бэрхшээл бол түүний эрчим хүчний гаралт нь температур болон нарны гэрлийн хүчнээс хамаарч өөрчлөгддөг шугаман бус шинж чанартай байдаг явдал юм. Энэ нь хэд хэдэн асуудал үүсгэдэг. Нарны панель нь халуун, сэрүүн орчинд өөр өөр байдлаар ажилладаг. Хэт өндөр температур нь нарны хавтангийн үр ашгийг бууруулдаг. Жишээлбэл, өндөр температурын үед цахилгаан үүсгүүрийн үзүүлэлтүүд буурч, бүрэн хүчин чадлаар ажиллахгүй болдог. Халуун орчинд нарны хавтангийн элементүүдийн эсэргүүцэл нэмэгдэж, цахилгаан дамжуулалт буурдаг.

Нарны цахилгаан үүсгүүрийн бүтээмж нь цаг агаар, улирал, өдрийн цаг, географийн байршил зэргээс хамаарч өөрчлөгддөг. Нартай, үүлтэй, бороотой үед нарны гэрлийн эрчим өөрчлөгддөг бөгөөд энэ нь нарны цахилгаан үүсгүүрийн эрчим хүчний гаралтын хэлбэлзлийг үүсгэдэг.

Нарны цахилгаан үүсгүүрийн гаралт нь шугаман бус, цаг хугацаа, нөхцөл байдлын дагуу огцом өөрчлөгдөж байдаг. Хэрэв нарны зайн хэдэн хэсэг нь сүүдэрт өртвөл, сүүдэртэй хэсгийн гүйдэл буурч, холболтуудын гүйдлийн урсгал нь зөвхөн сүүдэргүй хэсэгт төвлөрч, цахилгаан гүйдлийг тэгш биш, бага хэмжээтэй урсгалтай болгоно. Үүний үр дүнд системийн бүтээмжийг хамгийн сүүлд сүүдэрт орсон хэсэгт тохируулан бууруулдаг бөгөөд гүйдлийн тэгш бус энэ урсгал нь системийн ажиллагааг алдагдуулж, нарны үүсгүүрийн хүчин чадлын бууралт үүсгэдэг.

Сүүдэрлэлт нь нарны цахилгаан үүсгүүрт hot-spot үүсгэх хамгийн гол шалтгаан болдог. Энэ нь

гүйдлийн тэгш бус урсгал, халалт үүсэх, бүтээмж буурах, нарны панелийн эвдрэлд хүргэх зэрэг асуудлуудыг үүсгэдэг. Гэхдээ bypass диодууд, микро-инвертерүүд болон зөв системийн дизайны тусламжтайгаар энэ асуудлыг багасгаж, нарны цахилгаан үүсгүүрийн тогтвортой байдлыг сайжруулах боломжтой. Түүнчлэн зарим тохиолдолд өдөржин, аль ч улиралд байшин барилга, тоос шороо, шувууны баас, үүлний бүрхэвч зэрэг хүрээлэн буй орчны нөхцөл байдлаас шалтгаалан хэсэгчилсэн сүүдэрлэхээс зайлсхийхэд хэцүү байдаг. Энэ нь нарны PV модулиудын хэсэгчилсэн сүүдэрлэх судалгааг хийх гол асуудал болгож байна. Сүүлийн жилүүдэд PV системийн гүйцэтгэлд хэсэгчилсэн сүүдэрлэх нөлөөг ихээр судалж байна. [2,3,4].

Лабораторийн болон хээрийн туршилтын явцад зардал, цаг хугацаа, цаг агаарын нөхцөл байдал гэх мэт олон саад бэрхшээл тулгардаг тул хэсэгчилсэн сүүдэрлэлтэд үзүүлэх нөлөөг судлахад хэцүү байдаг. Мөн сүүдэрлэлтэд PV системийн хэд хэдэн өөр өөр тохиргооны дор сүүдэрлэх эрчмийн ижил түвшнийг жигд хэмжихэд бэрхшээлтэй байдаг тул симуляцийн тусламжтайгаар судалгаа хийх нь тохиромжтой[5-12]. Энэхүү өгүүлэлд нарны цахилгаан үүсгүүрийн үйлдвэрлэх цахилгаан эрчим хүчинд байгалийн болон зарим санамсаргүй хүчин зүйлүүд хэрхэн нөлөөлж байгааг судлахын тулд сүүдэрлэх боломжит хувилбаруудыг судалж, боломжит сүүдэрлэлтийг ойлгох, урьдчилан таамаглахын тулд MATLAB/Simulink дээр загварчлал хийж дүн шинжилгээ хийсэн.

II. НАРНЫ ЗАЙН ҮҮСГҮҮРИЙН ҮНДСЭН ҮЗҮҮЛЭЛТ

Нарны зайн хувиргалтын АҮК- нарны элементийн үйл ажиллагааны хамгийн чухал үзүүлэлт юм. Нарнаас ирж байгаа гэрлийн энергийн хэдэн хувийг цахилгаан эрчим хүч болгон хувиргаж байгааг харуулна. Энэ нь нарны эрчим, гадаргын температур, агаарын массаас хамаарна. Газрын гадарга дээр ашиглах нарны дэлгэцийн хувьд 25 хэмийн температур, AM-1.5 нөхцөлд тооцно.

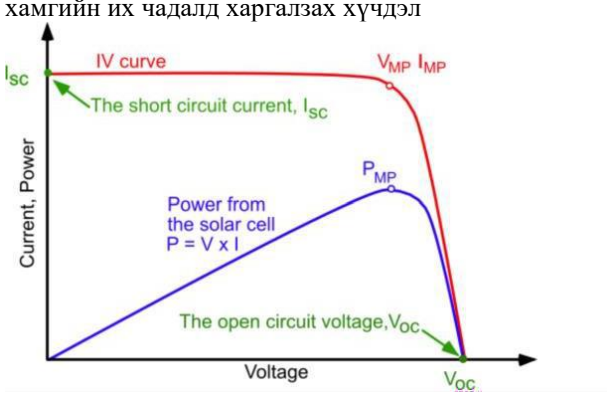
$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{V_{MPP}J_{MPP}}{P_{in}} = FF\frac{V_{oc}J_{sc}}{P_{in}} \quad (1)$$

Нарны цахилгаан үүсгүүрийн хамгийн их чадал нь системд чухал үүрэг гүйцэтгэдэг бөгөөд гаралтын чадлыг нэмэгдүүлснээр үр ашгийг нэмэгдүүлэх боломжтой. Нарны цахилгаан үүсгүүрийн үр ашгийг тодорхойлоход ашигладаг гол үзүүлэлтүүд нь үйлдвэрлэх хамгийн их чадал (P_{max}), богино залгааны гүйдэл (J_{sc}), нээлттэй хэлхээний хүчдэл (V_{oc}) ба дүүргэлтийн коэффициент (FF, Fill factor) юм. FF нь нээлттэй хэлхээний хүчдэл ба богино залгааны гүйдлийн утгаар тодорхойлогдоно. FF нь нарны дэлгэцийн АҮК-ийг илэрхийлэх чухал хэмжигдэхүүн юм. Fill factor нь хамгийн их чадлыг Isc ба Voc –ийн үржвэрт хуваана.

$$FF = \frac{J_{mpp}V_{mpp}}{J_{sc}V_{oc}} \quad (2)$$

$$P_{mpp} = I_{mpp} \cdot V_{mpp} \quad (3)$$

I_{mpp} – хамгийн их чадалд харгалзах гүйдэл, V_{mmp} – хамгийн их чадалд харгалзах хүчдэл



1-р зураг. Нарны зайн гүйдэл хүчдэлийн хамаарал

Богино залгааны гүйдэл нь хүчдэл тэгтэй тэнцүү байх үеийн гүйдлийн утга буюу у тэнхлэгтэй огтлолцсон цэгийг богино хэлхээний гүйдэл гэнэ. Богино залгааны гүйдэл нь хэмжиж буй нарны зайн элементийн талбайгаас хамаарна.

Нээлттэй хэлхээний хүчдэл нь гүйдэл тэгтэй тэнцүү байх үеийн хүчдэлийн утга буюу х тэнхлэгтэй огтлолцсон цэгийг нээлттэй хэлхээний хүчдэл гэнэ. Энэ нь нарны зайн элементийн дамжуулж чадах хамгийн дээд хүчдэл юм.

А. Нарны цахилгаан системийн үйлдвэрлэлд нөлөөлөх хүчин зүйлс

Нарны цахилгаан үүсгүүрийн гүйцэтгэл нь олон хүчин зүйлээс шууд хамаардаг. Тухайлбал, температур, нарны цацраг, хазайлтын өнцөг, сүүдэрлэлт болон тоос шороо зэрэг хүчин зүйлс нь нарны зайн цахилгаан үйлдвэрлэх хүчин чадалд нөлөөлдөг. PM10 болон PM2.5 тоосонцор нь нарны панелийн гадаргууг бохирдуулж, нарны цацрагийн тусгалд хязгаарлалт учруулдаг бөгөөд энэ нь нарны зайн үйлдвэрлэлийн хүчин чадалд нөлөөлнө. Япон улсын судалгаагаар хот суурин газрын өндөр барилгуудын сүүдэрлэлтийг багасгахын тулд нарны хавтангийн хазайлтын өнцгийг тохируулах аргыг ашиглах нь үр дүнтэй болохыг тогтоосон [13]. Үүнээс гадна чийгшил, салхины хурд, байрлал зэрэг хүчин зүйлс гол нөлөө үзүүлдэг[14]. Зураг 2-т НЦҮ-ийн эрчим хүчний үйлдвэрлэлд нөлөөлдөг гол хүчин зүйлсийг харуулав.

2-р зураг. НЦҮ-ийн эрчим хүчний үйлдвэрлэлд нөлөөлдөг гол хүчин зүйлс

НЦҮ-ийн гадаргуугийн температур нь НЦҮ- ийн эрчим хүчний үйлдвэрлэлтэй шууд холбоотой.

$$T_{PV} = T_{\text{орчин}} + \frac{G}{800} \cdot (T_{\text{хэвийн}} - 20) \quad (4)$$

Энд, $T_{\text{орчин}}$ – Гадаад орчны температур, ^{0}C, G – нарны цацраг, Вт/м^2, $T_{\text{хэвийн}}$ - НЦҮ хэвийн ажиллах температур, 0C.

НЦҮ-ийн гаралтын хамгийн их чадлыг гадаргуугийн температур, нарны цацраг зэрэг цаг уурын нөхцөлийг харгалзан дараах илэрхийллээр тооцдог.

$$P_{\text{НЦҮ}} = P_{\text{нэрлэсэн}} \cdot \frac{G}{1000} \cdot [1 - \gamma \cdot (T_{PV} - 25)] \quad (5)$$

Энд, γ – НЦҮ-ийн температурын параметр бөгөөд энэ нь суурилуулсан НЦҮ-ийн техникийн үзүүлэлт юм.

Температур ба нарны цацраг нь нарны фотоцахилгаан үүсгүүрийн гаралтын чадалд нөлөөлдөг гол хүчин зүйл юм. НЦҮ-ийн нэрлэсэн чадлыг үйлдвэрлэх ашиглалтын нөхцөл нь температур 25°C, нарны цацраг 1000 Вт/м^2, агаарын масс 1.5 AM юм.

$$P_{\text{Бодит}} = \left(1 - \frac{df}{100}\right) \cdot \left(1 - \frac{Sp}{100}\right) \cdot P_{\text{хэвийн}} \quad (6)$$

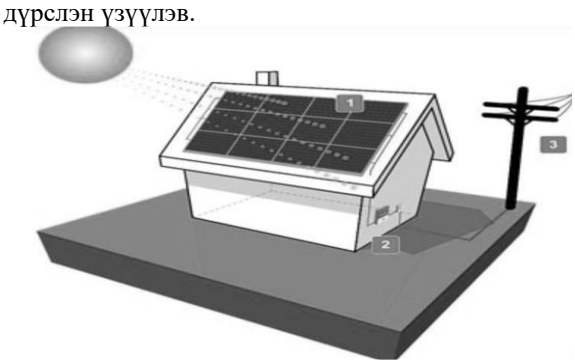
Энд *df*- НЦҮ-ийн гадаргуу дээр хуримтлагдсан бохирдлын үзүүлэлтийн хувь. Бохирдол нь НЦҮ-ийн гаралтын чадлыг бууруулна. S_p нь сүүдэрлэх нөлөөллөөс үүдэлтэй алдагдах хувь юм. НЦҮ-ийн хамгийн их чадал болон гаралтын бодит чадлыг тооцоолсны дараа эрчим хүчний алдагдлыг тооцно.

$$P_{\text{алдагдал}} = P_{\text{НЦҮ}} - P_{\text{Бодит}} \quad (7)$$

Нарны цахилгаан үүсгүүр 50%-аас дээш сүүдэрлэлт үүссэн тохиолдолд гаралтын чадал огцом буурч ингэснээр эрчим хүчний үйлдвэрлэл мөн адил буурна.

III. ТООЦОО, СИМУЛЯЦИЙН ХЭСЭГ

Хэсэгчилсэн сүүдэрлэлт нарны цахилгаан үүсгүүрийн гаралтад хэрхэн нөлөөлдгийг судлахын тул 4 зэрэгцээ 4 цуваа нийт 16 ширхэг нарны цахилгаан үүсгүүрийг барилгын дээвэр суурилуулан цэлмэг (нарны эрчим 1000Вт/м^2), бүрхэг, үүлэрхэг (нарны эрчим 800 Вт/м^2-200 Вт/м^2) өдөр болон хэсэгчилсэн сүүдэрлэлт НЦҮ-т зохиомлоор үүсгэн гаралтын гүйдэл, хүчдэл, чадал хэрхэн өөрчлөгдөж байгааг МАТЛАБ симулинк программ ашиглан симуляцийг хийж гүйцэтгэлээ. Америкийн Soltech 15Th-215-P маркийн 213.15 Вт чадалтай моно кристал нарны цахилгаан үүсгүүрийг сонгон суурилуулсан. Зураг 3-т үндсэн барилгын объектыг дүрслэн үзүүлэв.



3-р зураг. Нарны цахилгаан үүсгүүрийг суурилуулсан байшингийн харагдах байдал

Нарны зайн модулийн болон цуваа зэрэгцээ холбогдсон нарны зайн системийн техникийн үзүүлэлтийг нэгтгэн Хүснэгт 1-т үзүүллээ.

ТЕХНИКИЙН ҮЗҮҮЛЭЛТ

1-Р ХҮСНЭГТ

Параметр	Нарны зайн модулийн үзүүлэлт	Нарны зайн системийн үзүүлэлт
Рмах	213.15Вт	3.41 кВт
Хүчдэл, V_{mpp}	29 В	116 В
Гүйдэл, I_{mpp}	7.35 А	29.4 А
Нээлттэй хэлхээний хүчдэл, V_{oc}	36.3 В	145.2 В
Богино залгааны гүйдэл, I_{sc}	7.84 А	31.36 А

НЦҮ нь ашиглагдаж буй нарны элементийн төрөл болон тоо ширхгээс хамааран чадал, ашигт үйлийн коэффициент, үйлдвэрлэх эрчим хүчний хэмжээ зэрэг нь өөр өөр байдаг.

Өдөрт үйлдвэрлэх эрчим хүчийг дараах томьёогоор олов.

$$Э_{\text{өдөр}} = P_{\text{дэл}} \cdot t_{\text{бн}} \cdot \eta_{\text{бох}} \cdot \eta_{\text{инв}} \cdot \eta_{\text{тэмп}} \cdot \eta_{\text{каб}} \quad (8)$$

$P_{\text{дэл}}$=Дэлгэцийн хэвийн чадал

$t_{\text{бн}}$=Тухайн өдөр бүтэн нар гийгүүлэх цагийн тоо

$\eta_{\text{бох}}$=Дэлгэцийн бохирдлыг тооцсон засварын коэффициент

$\eta_{\text{инв}}$=Инвертерийн ашигт үйлийн коэффициент

$\eta_{\text{тэмп}}$=Дэлгэцийн температурын засварын коэффициент

$\eta_{\text{каб}}$=Кабель утасны эрчмийн алдагдлыг тооцсон засварын коэффициент

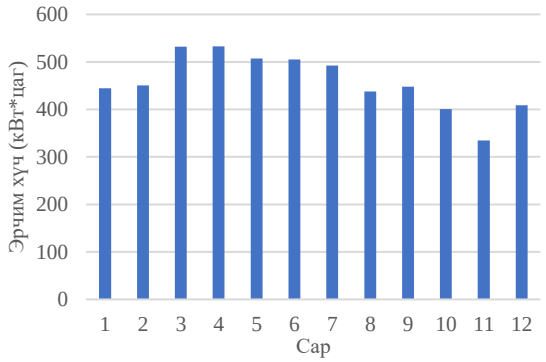
Тухайн сард үйлдвэрлэх эрчим хүчний хэмжээг олох:

$$Э_{\text{сар}} = Э_{\text{өдөр}} \cdot n_{\text{өдөр}}, \text{ Вт*цаг} \quad (9)$$

Дэлгэцийн жилд үйлдвэрлэх эрчим хүчний хэмжээ

$$Э_{\text{жил}} = \sum_{k=1}^{k=12} Э_{\text{сар}}, \text{ Вт*цаг} \quad (10)$$

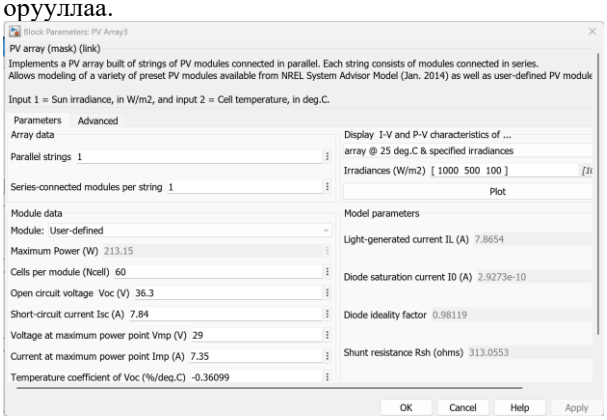
Объектын жилийн тухайн нэг сарын нэг өдөрт үйлдвэрлэх цахилгаан эрчим хүчний хэмжээг дээрх томьёо ашиглан тооцно. Тооцож олсон нэг өдрийн эрчим хүчний хэмжээг ашиглан тухайн сарын харгалзах өдрийн тоонд үржүүлэн сарын цахилгаан эрчим хүчний хэмжээг тодорхойллоо. Барилгын дээвэр дээр баригдах 3.41 кВт-ын нарны цахилгаан системийн жилийн эрчим хүчний үйлдвэрлэлийг Зураг 4-д үзүүллээ.



4-р зураг. Жилийн турш үйлдвэрлэх эрчим хүчний хэмжээ

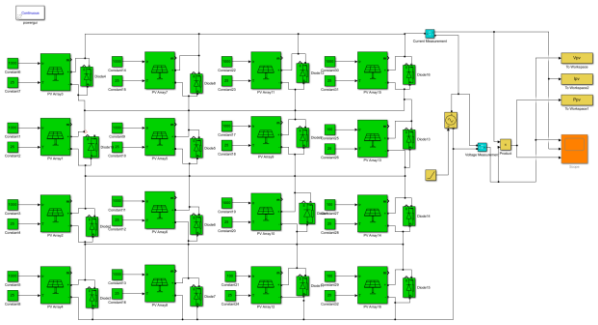
Матлаб программын Simulink/Library browser/Simscape/ Electrical / Specialized Power Systems/ Sources/ PV Array гэсэн дараалаар PV Array нарны панелийн блокийг гарган барилгын дээвэр дээрх НЦҮ-ийн үндсэн үзүүлэлтийг

оруулаа.



5-р зураг. НЦҮ-ийн үндсэн параметрүүдийг оруулах талбар

МАТЛАБ симулинк программ дээр 4 зэрэгцээ 4 цуваа буюу 16 ширхэг нарны зайн модультай PV системийн симуляцийг Зураг 6-т үзүүллээ.

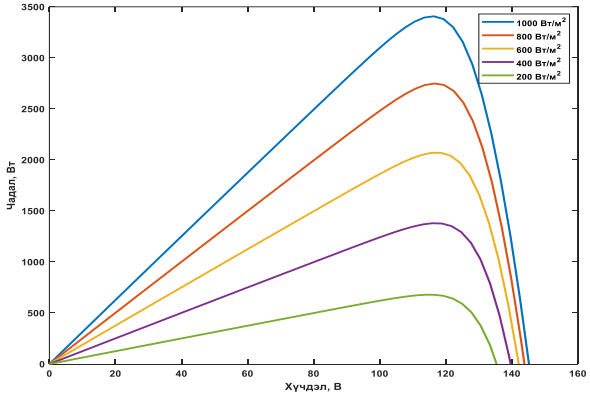


6-р зураг. Нарны цахилгаан системийн MATLAB загварчлал

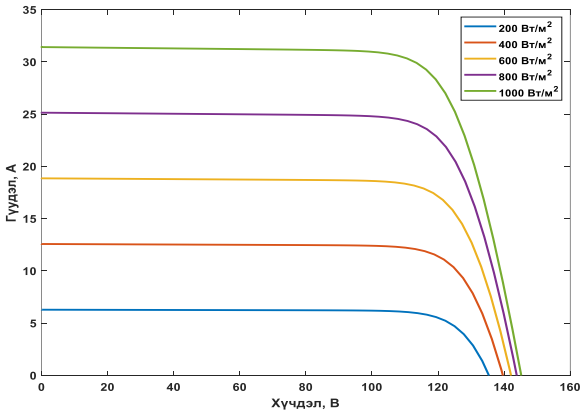
IV. СИМУЛЯЦИЙН ҮР ДҮН

Нарны цахилгаан системийн үйлдвэрлэх цахилгаан эрчим хүчинд байгалийн болон санамсаргүй хүчин зүйлүүд нөлөөлдөг. Дараах 3-н өөр тохиолдолд Матлаб симулинк программ дээр туршилтыг хийж гүйцэтгэлээ.

1. Орчны температур тогтмол 25°C-т нарны эрчим өөр өөр үед симуляцийг хийж V-P болон V-I хамаарамжийг байгууллаа. Симуляцийн үр дүнг Зураг 7-аас Зураг 8 болон Хүснэгт 2-д үзүүллээ.



7-р зураг. Орчны температур тогтмол 25°C-т нарны эрчим өөр өөр үе дэх P-V хамаарамж



8-р зураг. Орчны температур тогтмол 25°C-т нарны эрчим өөр өөр үе дэх I-V хамаарамж

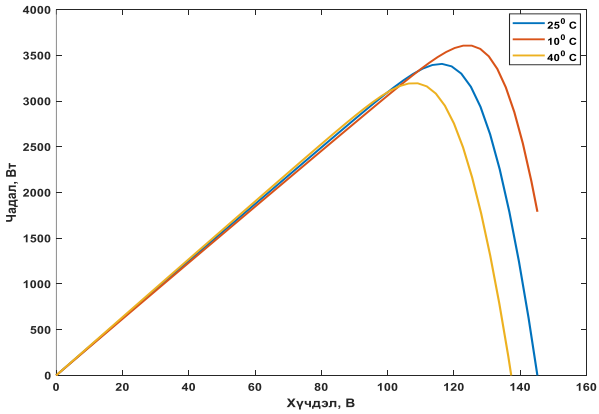
Орчны температур тогтмол 25°C-т нарны цацрагийн эрчим буурахад гаралтын хүчдэл бага хэмжээгээр буурч, гүйдэл болон чадал нь их хэмжээгээр буурч байна.

ОРЧНЫ ТЕМПЕРАТУР ТОГТМОЛ 25°C-Т НАРНЫ ЭРЧИМ ӨӨР ӨӨР ҮЕ ДЭХ СИМУЛЯЦИЙН ҮР ДҮН

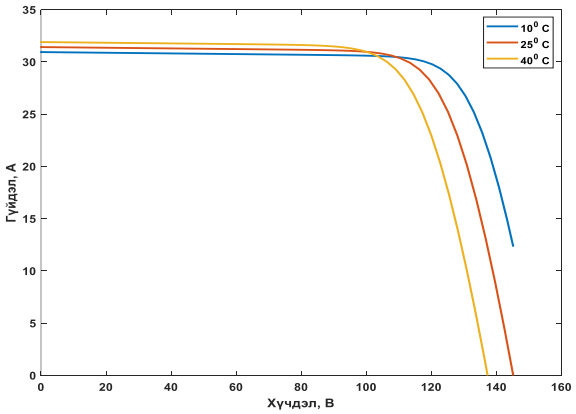
2-Р ХҮСНЭГТ

Параметрүүд	Орчны температур тогтмол 25°C				
	1000 Вт/м^2	800 Вт/м^2	600 Вт/м^2	400 Вт/м^2	200 Вт/м^2
Гүйдэл [А]	31.46	25.17	18.88	12.58	6.292
Хүчдэл [В]	145.2	144	142	140	135
Чадал [Вт]	3407	2749	2069	1379	678.7

2. Нарны эрчим тогтмол 1000 Вт/м^2, орчны температур өөр өөр үед симуляцийг хийж V-P болон V-I хамаарамжийг байгууллаа. Симуляцийн үр дүнг Зураг 9, Зураг 10 болон Хүснэгт 3-т үзүүллээ.



9-р зураг. Нарны эрчим тогтмол 1000 Вт/м^2, орчны температур өөр өөр үе дэх P-V хамаарамж



10-р зураг. Нарны эрчим тогтмол 1000 Вт/м², орчны температур өөр өөр үе дэх I-V хамаарамж

Нарны эрчим тогтмол 1000 Вт/м², орчны температур ихсэхэд гаралтын гүйдэл нь бараг өөрчлөгдөхгүй харин гаралтын чадал болон хүчдэл нь буурч байна.

НАРНЫ ЭРЧИМ ТОГТМОЛ 1000 Вт/М², ОРЧНЫ ТЕМПЕРАТУР ӨӨР ӨӨР ҮЕ ДЭХ СИМУЛЯЦИЙН ҮР ДҮН

3-Р ХҮСНЭГТ

Параметрүүд	Нарны эрчим тогтмол 1000 Вт/м²		
	10°C	25°C	40°C
Гүйдэл [А]	30.98	31.46	31.94
Хүчдэл [В]	152.1	145.2	138.2
Чадал [Вт]	3606	3407	3194

3. Цэлмэг, бүрхэг, үүлэрхэг өдөр болон хэсэгчилсэн сүүдэрлэлт нарны цахилгаан үүсгүүрт үүссэн үед гаралтын гүйдэл хүчдэл, чадал хэрхэн өөрчлөгдөж байгааг судлахын тулд зохиомлоор нарны эрчмийг өөр өөрөөр өөрчлөн сүүдэрлэх боломжит хувилбаруудыг Хүснэгт 4-Хүснэгт 7-д үзүүллээ.

   Үүнд: Нарны эрчим нь 1000 Вт/м² байх үед, хэсэгчилсэн сүүдэрлэлт нарны цахилгаан системийн 20%-ийг, 30%-ийг, 50%-ийг, 75%-ийн сүүдэрлэсэн үед (нарны эрчмийг 1000 Вт/м², 800 Вт/м², 600 Вт/м², 400 Вт/м², 200 Вт/м² гэх мэт өөр өөрөөр өөрчилсөн) температур тогтмол 25°C үед симуляци хийлээ.

20 %-ИЙН ХЭСЭГЧИЛСЭН СҮҮДЭРЛЭЛТ

4-Р ХҮСНЭГТ

1000	800	600	1000
800	800	600	1000
600	600	600	1000
800	800	800	1000

30 %-ИЙН ХЭСЭГЧИЛСЭН СҮҮДЭРЛЭЛТ

5-Р ХҮСНЭГТ

800	600	600	600
800	600	800	600
800	800	600	800
600	600	800	800

50 %-ИЙН ХЭСЭГЧИЛСЭН СҮҮДЭРЛЭЛТ

6-Р ХҮСНЭГТ

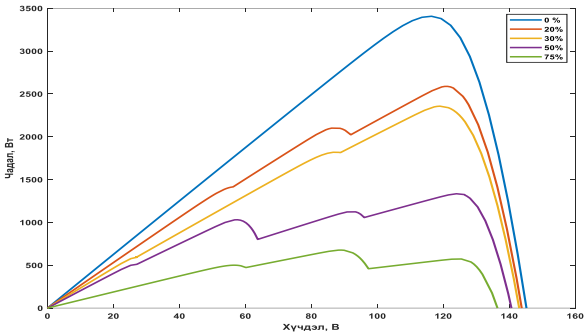
200	200	400	600
400	400	600	800
600	800	800	200
800	800	200	200

75 %-ИЙН ХЭСЭГЧИЛСЭН СҮҮДЭРЛЭЛТ

7-Р ХҮСНЭГТ

200	400	100	100
400	100	200	400
100	600	200	200
200	200	400	200

Симуляцийн үр дүнг Зураг 11 болон Хүснэгт 8-д үзүүллээ.



11-р зураг. 25°C температурын үеийн хэсэгчилсэн сүүдэрлэлт дэх P-V хамаарамж

25°C ТЕМПЕРАТУРЫН ҮЕИЙН ХЭСЭГЧИЛСЭН СҮҮДЭРЛЭЛТ ДЭХ ЧАДЛЫН АЛДАГДАЛ

8-Р ХҮСНЭГТ

Хэсэгчилсэн сүүдэрлэлт [%]	Хүчдэл [В]	Гүйдэл [А]	Чадал [Вт]	Чадлын алдагдлыг хувиар илэрхийлэв [%]
0	145.2	31.46	3407	**0**
20	144.3	26.72	2588	**24.0**
30	143.0	25.15	2357	**30.8**
50	140.5	20.43	1334	**60.8**
75	137.1	9.432	676.8	**80.1**

Хэсэгчилсэн сүүдэрлэлт нь PV системийн гаралтын чадлыг бууруулж, эрчим хүчний үйлдвэрлэлд сөргөөр нөлөөлдөг нь энэхүү судалгааны үр дүнгээс харагдаж байна.

V. ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгаагаар нарны цахилгаан үүсгүүрийн сүүдэрлэлтийн нөлөөллийг судалж, системийн гүйцэтгэлд хэрхэн өөрчлөлт оруулж байгааг шинжиллээ.

Барилгын ашиглагдахгүй дээврийн зай талбай их байгаа бөгөөд тухайн сул талбайг ашиглан Америкийн Soltech 15Th-215-P маркийн 213.15 Вт чадалтай, 4 цуваа, 4 зэрэгцээ холбогдсон нийт 16 нарны зайн модулиас бүрдэх байшингийн дээвэр дээрх 3.41к Вт-ын нарны цахилгаан системийг загварчилж, нарны цацрагийн эрчим болон орчны температурын өөрчлөлтийн нөхцөлд гаралтын хүчдэл, гүйдэл, чадлын өөрчлөлтийг тооцооллоо.

- Орчны температур тогтмол 25°C үед, нарны эрчмийг 1000 Вт/м²-200 Вт/м² болгон өөрчлөн чадал хүчдэл болон гүйдэл хүчдэлийн хамаарлыг байгуулаа. Нарны эрчим өөрчлөгдөхөд нарны зайн үүсгүүрийн гаралтын хүчдэл бага зэрэг өөрчлөгдөж байгаа бөгөөд гаралтын гүйдэл нь 31.46 А-аас 6.292А, гаралтын чадал нь 3407 Вт-аас 678.7 Вт болтол буурч байна. Бүрхэг өдөр олонтой өвлийн улиралд эрчим хүчний үйлдвэрлэл муу, харин цэлмэг нартай өдөр олонтой хаврын

улиралд буюу 4-р сард эрчим хүчний үйлдвэрлэл их байгаа нь тохирч байна.

- Нарны эрчим тогтмол 1000 Вт/м^2 байх үед орчны температур 10^{0}С -40^{0}С болгон өөрчлөн чадал хүчдэл болон гүйдэл хүчдэлийн хамаарлыг байгууллаа. Орчны температур ихсэхэд гаралтын гүйдэл нь бараг өөрчлөгдөхгүй харин гаралтын чадал нь 3606 Вт-аас 3194 Вт, гаралтын хүчдэл 152.1 В-оос 138.1 В хүртлээ буурч байна. Зуны халуун улиралд буюу 8-р сард эрчим хүчний үйлдвэрлэл бага байна.
- Нарны зайн модулиудад хэсэгчилсэн сүүдэрлэлт үүсгэх (Хүснэгт 4-оос Хүснэгт 7-ийн дагуу өөрчлөх) үед НЦҮ-ийн гаралт мэдэгдэхүйц буурч байна. Хэсэгчилсэн сүүдэрлэлтийн хувиас хамааран чадлын алдагдал ихсэж байна. Хэсэгчилсэн сүүдэрлэлт 20% байхад чадлын алдагдал 24%, харин хэсэгчилсэн сүүдэрлэлт 75 % байхад чадлын алдагдал 80% байна. Судалгааны үр дүнгээс харахад ялангуяа сүүдэрлэлт 50%-иас давах үед гаралтын чадал огцом буурч, системийн нийт үр ашгийг эрс бууруулж байгааг тогтоолоо. Хэсэгчилсэн сүүдэрлэлт нь PV системийн гаралтын чадлыг бууруулж, эрчим хүчний үйлдвэрлэлд сөргөөр нөлөөлдөг нь энэхүү судалгааны үр дүнгээс харагдаж байна
- Хэдий сүүдэрлэлтээс болж нарны цахилгаан системийн гаралтын чадал буурч байгаа ч байгаль орчинд ээлтэй нарны эрчим хүчийг ашиглах нь туйлын чухал юм. Энэ асуудлыг шийдвэрлэхэд дараах арга хэмжээнүүдийг авч болно:
- Барилгын орчин тойрноос сүүдэрлэлтийг үүсгэдэг объектуудыг (мод, өндөр барилга гэх мэт) шилжүүлэх эсвэл арилгах замаар нарны зайны гаралтын чадлыг нэмэгдүүлэх боломжтой.
- Орчин үеийн нарны модулиуд илүү өндөр үр ашигтай байдаг тул сүүдэрлэлтийн нөлөөг багасгах боломжтой.
- Микроинвертер эсвэл оптимизаторууыг ашиглавал нарны модуль бүрийг тусад нь удирдах боломжийг олгодог модулиудын гаралтын чадлыг бууруулахгүй.
- Барилга байгууламжийн дээвэр эсвэл талбайд нарны зайг суурилуулахдаа сүүдэрлэлтээс хамгийн бага нөлөөлөх байршлыг сонгох нь чухал.
- Нарны зайны гадаргууг тогтмол цэвэрлэж, сүүдэрлэлтийг үүсгэдэг хог хаягдлыг арилгах нь гаралтын чадлыг нэмэгдүүлэхэд тусална.
- Эдгээр арга хэмжээг хэрэгжүүлснээр нарны эрчим хүчний системийн үр ашгийг дээшлүүлж, барилга байгууламжид илүү тогтвортой эрчим хүч хангах боломжтой.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1]. International Renewable Energy Agency (IRENA), "Renewable Capacity Statistics 2023," [Online]. Available: https://www.irena.org/.

[2]. N. D. Kaushika and N. K. Gautam, “Energy yield simulations of interconnected solar PV arrays,” *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 18, no. 1, pp. 127-134, 2003

[3]. M. Klenk, S. Keller, L. Weber et al., “Investigation of the hotspot behaviour and formation in crystalline silicon Power cells, PV in Europe, From PV technology to energy solutions,” *Proc. of the International Conference*, pp. 272-275, 2002.

[4]. A. Woyte, J. Nijs, and R. Belmans, “Partial shadowing of photovoltaic arrays with different system configurations: literature review and field test results,” *Solar Energy*, vol. 74, no. 3, pp. 217-233, 2003.

[5]. M. Koehl, M. Heck, and S. Wiesmeier, “Modeling of conditions for accelerated life time testing of humidity impact on PV-modules based on monitoring of climatic data,” *Solar Energy Materials & Solar Cells*, vol. 99, pp. 282-291, 2012.

[6]. H. K. Elminir, V. Benda, and J. Tousek, “Effects of solar irradiation conditions and other factors on the outdoor performance of photovoltaic modules,” *Journal of Electrical Engineering*, vol. 52, no. 5-6, pp. 125-133, 2001.

[7]. C. S. Chin, P. Neelakantan, S. S. Yang, B. L. Chua, K. K. Teo,”Effect of Partially Shaded Conditions on Photovoltaic Array's Maximum Power Point Tracking”, *International Journal of Simulation Systems, Science & Technology* (IJSSST), vol. 12, no. 3, pp. 52-59, (2011).

[8]. L. Gao, R. A. Dougal, S. Liu, and A. P. Iotova, “Parallel-connected solar PV system to address partial and rapidly fluctuating shadow conditions,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 56, no. 5, pp. 1548-1556, 2009.

[9]. Mohammed Abdulazeez, Ires Iskender, “Simulation and Experimental study of Shading Effect on series and parallel connected PV”, Gazi University, Ankara, Turkey.

[10]. H. Patel and V. Agarwal,” MATLAB-Based Modeling to Study the Effects of Partial Shading on PV Array Characteristics”, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 23, no. 1, pp. 302-310, (2008).

[11]. Rifa J. El-Khozondar, Teuvo Suntio, “Matlab/Simulink Modeling to study the effect of partially shaded condition on Photovoltaic array's Maximum Power Point”, May 2015

[12]. Pendem, S.R., S. Mikkili, “Modeling, simulation and performance analysis of solar PV array configurations (Series, Series-Parallel and Honey-Comb) to extract maximum power under partial shading conditions”, *Energy Report*, 4, pp 274-287, 2018

[13]. H. Ibrahim and N. Anani, “Variations of PV module parameters with irradiance and temperature,” *Energy Procedia*, vol. 134, pp. 276-285, 2017. doi: 10.1016/j.egypro.2017.09.617.

[14]. S. Mekhilef, R. Saidur, and M. Kamalisarvestani, “Effect of dust, humidity and air velocity on efficiency of photovoltaic cells,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, pp. 2920-2925, 2012.

НАРНЫ ХАВТАНГИЙН НАЛАЛТЫН ӨНЦӨГ НЬ АШИГЛАЛТ, ЗАСВАРТ ҮЗҮҮЛЭХ НӨЛӨӨЛЛИЙН СУДАЛГАА

Н.Мөнхсаран[1], Г.Мөнгөншагай[1]

[1]Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Шинэ, Сэргээгдэх эрчим хүчний салбар

Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: mungunshagai@must.edu.mn[2]

***Хураангуй*: Нарны хавтангийн гадаргуу дээр цас, тоос, шороо хуримтлах нь эрчим хүчний гарцад сөргөөр нөлөөлж, үйлдвэрлэлийн үр ашгийг бууруулдаг. Нарны хавтан дээр цас хэрхэн хуримтлагддагийг ойлгох, цас, тоос, шорооны хуримтлал нь нарны эрчим хүч хувиргах үр ашигт хэрхэн нөлөөлдгийг тодорхойлох зорилгоор, янз бүрийн налуу өнцөг бүхий нарны хавтангуудын цас ба тоос, шороо тогтох процессыг судалсан. Мөн цас, тоос, шорооны зузаан, гулсалтын зай болон нарны хавтангийн эрчим хүч үйлдвэрлэх үр ашгийн хоорондын хамаарлыг туршилтаар тодорхойлов. Судалгааны үр дүнд, нарны хавтан ба газрын хоорондох налуу өнцөг их байх нь хавтан дээрх цас, тоос, шороо хуримтлалд сөрөг нөлөө үзүүлж, 1 см зузаан цас бүрхэх үед нийт үйлдвэрлэлийн үр ашиг буурч болохыг тогтоов. Харин цасны гулсалт нь нарны эрчим хүч үйлдвэрлэх үр ашгийг нэмэгдүүлэхэд эерэг нөлөөтэй байгааг ажигласан. Мөн цас нь гулсахдаа нарны хавтан дээрх тоос, шороог давхар гулсуулж хавтангийн доод хэсэгт дээд болон дунд хэсгээс илүү тоос, шороо тогтдог болохыг анзаарсан. Тоос, шорооны хувьд налалтын өнцгийг эгц тохируулах тусам илүү бохирдол багатай болохыг тогтоов. Туршилтын үр дүнгийн дүн шинжилгээнд үндэслэн, цастай болон тоос, шороо тогтсон нөхцөлд нарны цахилгаан станцуудын эрчим хүчний үйлдвэрлэлийн үр ашгийг сайжруулах тодорхой саналуудыг дэвшүүлж, инженерийн практикт ашиглах боломжтой зөвлөмж гаргасан.**

Түлхүүр үг: Нарны хавтан, Налалтын өнцөг, Нарны эрчим хүч, Эрчим хүчний хэмнэлт

I. УДИРТГАЛ

Сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсвэрүүд дундаас нарны эрчим хүч нь тогтвортой байдал, байгаль орчинд ээлтэй байдал, өргөн хүрээний хэрэглээ зэрэг олон давуу талтай. Гэвч нарны цахилгаан үүсгүүрийн үр ашгийг нэмэгдүүлэхэд олон хүчин зүйл нөлөөлдөг бөгөөд тэдгээрийн нэг нь нарны хавтангийн хазайлтын өнцөг юм. Нарны хавтангийн хазайлтын өнцөг нь нарны цацрагийг ямар хэмжээгээр хүлээн авахыг тодорхойлох гол хүчин зүйл бөгөөд үүнийг оновчтой тохируулах нь эрчим хүчний гарцыг сайжруулах үндсэн аргачлалуудын нэг гэж үздэг [1].

Хазайлтын өнцөг буруу тохируулагдсан тохиолдолд нарны цацрагийн шингээлт буурч, эрчим хүч үйлдвэрлэх чадвар сулрах, сүүдэрлэлт үүсэх, бохирдол хуримтлагдах зэрэг асуудал гарч, засвар үйлчилгээний зардал нэмэгдэх эрсдэлтэй байдаг [2]. Харин нарны хавтангийн хазайлтын өнцгийг зөв тохируулснаар эрчим хүчний үйлдвэрлэлийг нэмэгдүүлж, тоос шороо, цас хуримтлагдах байдлыг багасгах, засвар үйлчилгээний давтамжийг бууруулах боломжтой [3].

Энэхүү тойм нийтлэл нь нарны хавтангийн хазайлтын өнцөг нь эрчим хүчний үйлдвэрлэл, ашиглалтын хугацаа, засвар үйлчилгээний үр ашгийг хэрхэн сайжруулдаг талаар өмнөх судалгаануудыг нэгтгэн дүгнэх зорилготой. Мөн оновчтой өнцгийн сонголт, улирлын өөрчлөлтөд тохируулах боломж, засвар үйлчилгээний стратеги зэрэг асуудлуудыг хамарч, нарны цахилгаан станцуудын тогтвортой ажиллагааг сайжруулах чиглэлээр практик зөвлөмж боловсруулахыг зорьж байна.

II. ОНОЛЫН ХЭСЭГ

1. Нарны эрчим хүчний үндэс ба фотоцахилгаан хувиргалт

Нарны эрчим хүч нь дэлхийд хүрч буй хамгийн арвин, тогтвортой сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсвэр бөгөөд үүнийг ашиглан цахилгаан үйлдвэрлэхэд фотоцахилгаан (PV) технологи өргөн хэрэглэгддэг [4]. Фотоцахилгаан систем нь нарны гэрлийг цахилгаан энерги болгон хувиргах процесс бөгөөд уг хувиргалтын үр ашиг нь нарны туяаны өнцөг, нарны хавтангийн чиглэл, орчны нөхцөлөөс шууд хамаардаг [5].

2. Нарны хавтангийн хазайлтын өнцөг ба эрчим хүчний үйлдвэрлэл

Нарны хавтангийн хазайлтын өнцөг нь нарны цацрагийг ямар хэмжээгээр шингээхийг тодорхойлдог гол хүчин зүйл юм. Оновчтой хазайлтын өнцгийг тохируулах нь цахилгаан үйлдвэрлэлийн үр ашгийг нэмэгдүүлэхэд чухал үүрэгтэй [6]. Судалгаагаар тухайн газрын өргөрөгт тохирсон өнцөг нь жилийн дундаж эрчим хүчний гарцыг нэмэгдүүлдэг болохыг тогтоосон [7].

Жишээ нь:

- Экваторт ойр бүсэд нарны хавтанг бараг хэвтээ байрлуулах нь хамгийн их эрчим хүч үйлдвэрлэдэг.
- Дунд өргөрөгт хавтангийн хазайлтын өнцөг нь тухайн газрын өргөрөгтэй ойролцоо байх нь тохиромжтой.
- Улирлын өөрчлөлтөөс хамааран хазайлтын өнцгийг өөрчлөх нь гарцыг нэмэгдүүлдэг [8].

3. Хазайлтын өнцөг ба засвар үйлчилгээний үр нөлөө

Нарны хавтангийн налуу өнцөг зөв тохируулагдсанаар засвар үйлчилгээний давтамж, зардал буурах давуу талтай. Судалгаануудын үзүүлснээр хэт бага өнцөгтэй байршуулалт нь тоос, цас хуримтлуулах эрсдэлийг нэмэгдүүлж, эрчим хүч үйлдвэрлэл буурахад хүргэдэг [9]. Харин өндөр өнцөгтэй байршуулснаар:

- **Цасны хуримтлал буурах** -Цасны зузаан 1 см-ээс их болсон тохиолдолд нарны хавтангийн эрчим хүч үйлдвэрлэх үр ашиг 5-10% хүртэл буурдаг [10].
- **Бохирдол, тоосжилт багасах**-Налуу байрлалтай хавтангуудын гадаргуу дээр тоос шороо бага хуримтлагдаж, өөрөө цэвэрлэх чадвар сайжирдаг [11].
- **Салхины нөлөөлөл**-Хэт их өнцгөөр байршуулсан хавтангууд салхины ачаалалд өртөмтгий болж, механик тогтвортой байдалд сөргөөр нөлөөлж болзошгүй [12].

4. Хазайлтын өнцгийг тохируулах аргууд

Нарны хавтангийн хазайлтын өнцгийг оновчтой байлгахын тулд хэд хэдэн аргачлалыг ашигладаг:

- **Тогтмол өнцгийн систем**-Өргөрөгт тохирсон өнцгөөр байрлуулдаг бөгөөд засвар үйлчилгээ бага шаардлаг.
- **Улирлын өөрчлөлтөд тохируулах систем** -Хавтангийн өнцгийг улирал бүр өөрчилснөөр эрчим хүч үйлдвэрлэлийг дунджаар 10-15% нэмэгдүүлдэг [13]
- **Хос хөдөлгөөнт нар дагах систем**-Нарны хөдөлгөөнийг даган автоматаар өнцөг өөрчилдөг дэвшилтэт технологи бөгөөд эрчим хүчний гарцыг 20-40% хүртэл өсгөдөг боловч өртөг өндөртэй [14]

III. НАЛАЛТЫН ӨНЦГӨӨС ХАМААРСАН НАРНЫ ХАВТАН ДЭЭРХ ТУРШИЛТУУД

А) Нарны хавтангийн налалтын өнцгөөс хамааран цас ороход хавтан дээрх цас хэр хугацаанд буух судалгаа

1-р зураг. 2025.02.05-ны өдөр нарны хавтангийн налалтын өнцгөөс хамааран цас тогтсон байдал

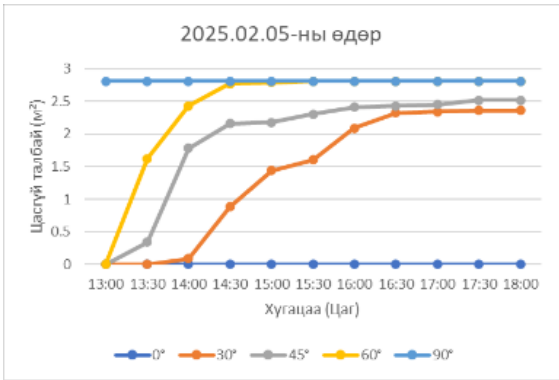


График 1. 2025.02.05-ны өдөр нарны хавтангийн налалтын өнцгөөс хамааран цас тогтоогүй тайлбай

Цас орсны дараа налалтын өнцгөөс хамааран хэсэг хугацааны дараа цас хайлж эрчим хүчний үйлдвэрлэлтэд нөлөө үзүүлж буйг (График 2, График 3, График 4)-өөс харж болно.

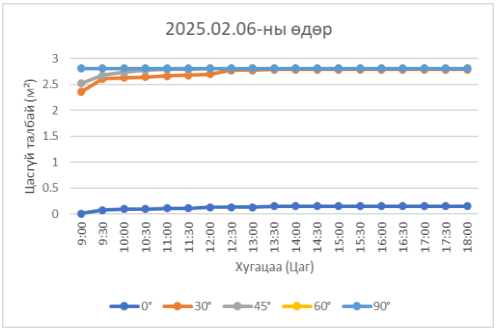


График 2. 2025.02.06-ны өдөр нарны хавтангийн налалтын өнцгөөс хамааран цас тогтоогүй тайлбай

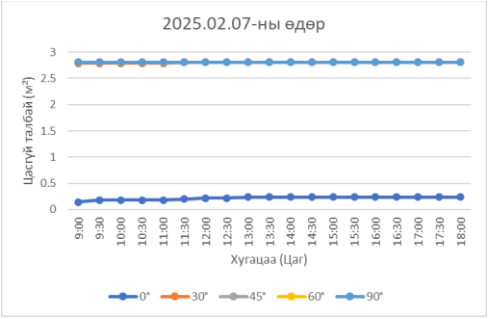


График 3. 2025.02.07-ны өдөр нарны хавтангийн налалтын өнцгөөс хамааран цас тогтоогүй тайлбай

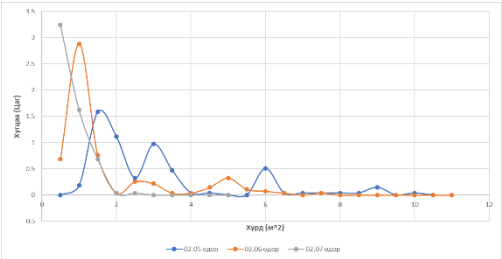


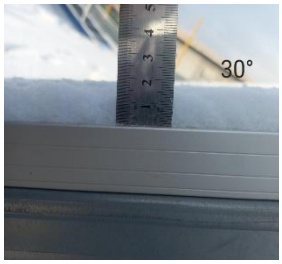
График 4. Нарны хавтангийн налалтын өнцгөөс хамааараад тогтсон цасны хайлах хурд

Нарны хавтан дээр тогтсон цас нь нарны тусгал болон агаарын температураас шууд хамаарч цас

хайлах хурд нь өөрчлөгдөж байгааг (График 4)-өөс харж байна.

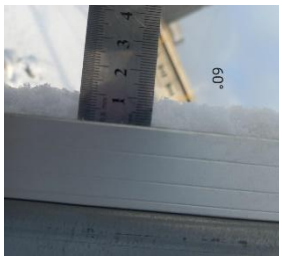
2-р зураг. 2025.03.12-ны өдөр нарны хавтангийн налалтын өнцгөөс хамааран цас тогтсон байдал

a) 0° - 2 см зузаан



b) 30° - 1.8 см зузаан

c) 45° - 1.5 см зузаан



d) 60° - 1 см зузаан

3-р зураг. 1-2 см-ийн цасны зузаантай туршилтын хэмжилт.

НАРНЫ ХАВТАНГИЙН НАЛАЛТЫН ӨНЦӨГ БА ЦАСНЫ ЗУЗААН

ХҮСНЭГТ 1.

Налалтын өнцөг	Цасны зузаан
0°	2
30°	1.8
45°	1.5
60°	1
90°	0

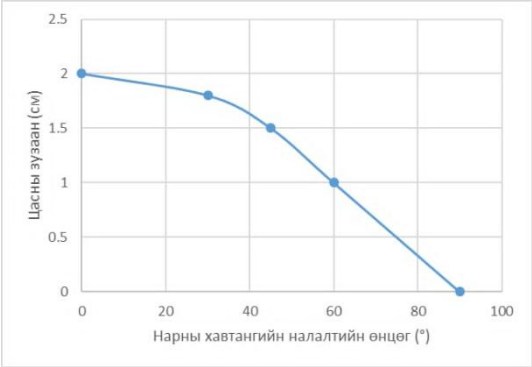


График 5. Нарны хавтангийн налалтын өнцгөөс хамааран цас тогтох хэмжээ

Нарны хавтангийн налалтын өнцгөөс хамааран цас тогтох хэмжээ өөр өөр байна. Налалтын өнцөг нь их байх тусам гулсаж унах цасны хэмжээ бага байгаад (График 5)-аас харж байна.

B) Тоосжилт бохирдол тогтох хэмжээ нь налалтын өнцгөөс хамаарсан судалгаа

a) 0° - дээрх бохирдол

b) 30° - дээрх бохирдол

c) 45° - дээрх бохирдол

d) 60° - дээрх бохирдол

е) 90° - дээрх бохирдол

4-р зураг. Нарны хавтангийн налалтын өнцгөөс хамааraад тогтсон тоос шорооны туршилт

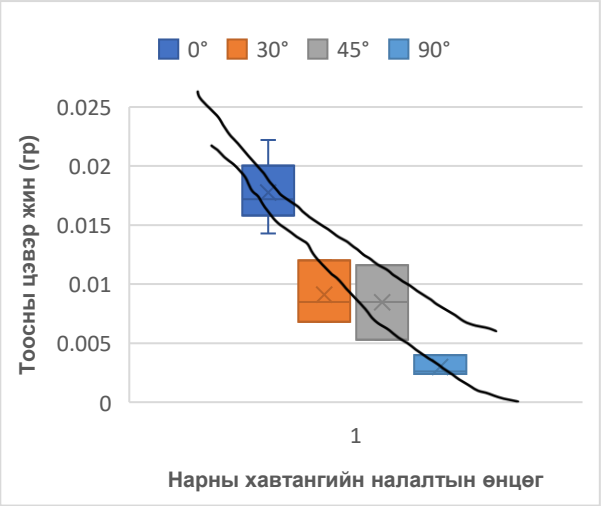


График 6. Нарны хавтан дээрх бохиролдохыг налалтын өнцөгтэй харьцуулсан байдал

Тоос, шорооны хувьд налалтын өнцөг их байх тусам илүү бохирдол багатай болохыг (График 5, 6)-аас харагдаж байна.

IV. ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгаагаар нарны хавтангийн гадаргуу дээр цас, тоос, шороо хуримтлагдах нь эрчим хүчний үйлдвэрлэлийн үр ашгийг хэрхэн бууруулдгийг судалсан. Янз бүрийн налуу өнцөг бүхий нарны хавтангуудын цас, тоос, шороо хуримтлагдах үйл явцыг шинжилж, зузаан, гулсалтын зай болон эрчим хүч үйлдвэрлэх үр ашгийн хоорондын хамаарлыг туршилтаар тодорхойлсон.

Судалгааны үр дүнд нарны хавтангийн налалтын өнцөг 60° байхад нь цас хуримтлагдсан ч 6-8 цагийн дотор арилж, эрчим хүч үйлдвэрлэх үр ашгийг 12-15% нэмэгдүүлэх эерэг нөлөөтэй болохыг тогтоов. Жишээлбэл, 1 см зузаантай цас хуримтлах үед үйлдвэрлэлийн үр ашиг мэдэгдэхүйц буурч, цас гулсаж арилах үед эрчим хүчний үйлдвэрлэл 8-10% нэмэгддэг нь ажиглагдсан. Мөн цас гулсах явцдаа нарны хавтан дээрх тоос, шороог хамт авч явах тул хавтангийн доод хэсэгт бохирдол илүү хуримтлагдах хандлагатай байгааг тогтоосон. Гэхдээ тоос шороо ёроол хэсэгтээ хуримтлагдаж байгаа нь ажиглагдсан.

Тоос, шорооны хувьд нарны хавтангийн налуу өнцгийг эгц тохируулах нь гадаргуу бохирдох хэмжээг бууруулахад чухал үүрэгтэй бөгөөд 45° болон түүнээс дээш налалтын өнцгүүд нь тоос шороог 20-25%-иар багасгадаг болох нь батлагдав. Харин 30° болон түүнээс бага налуу өнцөгтэй хавтангуудын гадаргуу дээр 40-50% их тоос, шороо хуримтлагдах хандлагатай байгааг тогтоосон.

V. АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar engineering of thermal processes*. John Wiley & Sons.

[2] Kurtz, S., Granata, J., & Quintana, M. (2011). Photovoltaic reliability: Challenges and opportunities. *National Renewable Energy Laboratory (NREL)*.

[3] Chow, T. T. (2010). A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology. *Applied Energy*, *87*(2), 365-379

[4] Green, M. A. (2019). Photovoltaic technology and visions for the future. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, *27*(5), 401-415.

[5] Luque, A., & Hegedus, S. (2011). *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. John Wiley & Sons.

[6] Jacobson, M. Z., & Delucchi, M. A. (2011). Providing all global energy with wind, water, and solar power. *Energy Policy*, *39*(3), 1154-1169.

[7] Kalogirou, S. A. (2014). *Solar Energy Engineering: Processes and Systems*. Academic Press

[8] Yang, D., Yin, H., & Li, X. (2018). A comprehensive review on solar tracking systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *82*, 2583-2606.

[9] Kim, H., Kim, J., & Kim, S. (2020). Effect of dust and tilt angle on the performance of photovoltaic modules. *Applied Sciences*, *10*(15), 5196.

[10] Marion, B., Schaefer, R., & Caine, H. (2013). Measured and modeled photovoltaic system energy losses from snow for Colorado and Wisconsin locations. *Solar Energy*, *97*, 112-121.

[11] Sayyah, A., Hsu, W., & Kandlikar, S. (2014). Performance of solar photovoltaic panels under dust accumulation: A review. *Solar Energy*, *107*, 70-81.

[12] Hirata, Y., & Tani, T. (2012). Output variation of photovoltaic modules with snow coverage. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, *74*(3), 225-232.

[13] Hassan, A., & Rahman, H. A. (2016). A review on current and future advances in tilt angle optimization for solar collectors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *58*, 703-718.

[14] Liu, Z., Zhang, X., & Yang, Y. (2017). Research on the influence of inclination angle on solar panels. *Journal of Renewable Energy*, *6*(4), 220-232.

ХОЁР ТАЛТ НАРНЫ ХАВТАНГИЙН ТЕХНОЛОГИ АШИГЛАСАН БӨМБӨРЦӨГ ХЭЛБЭРТЭЙ НАРНЫ ЦАХИЛГААН ДУЛААН ХОСОЛСОН ҮҮСГҮҮРИЙН СУДАЛГАА

М.Солонго, Г.Мөнгөншагай

[1]Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Сэргээгдэх Эрчим Хүчний Салбар

**Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: mungunshagai@must.edu.mn[1]*

Хураангуй: **Энэхүү судалгаа нь хоёр талт нарны хавтан технологийг ашигласан бөмбөрцөг хэлбэртэй нарны цахилгаан дулаан хосолсон үүсгүүр-ийн эрчим хүчний үйлдвэрлэлийн үр ашгийг судалсан. Bi Solar Advisor Model (SAM) программ ашиглан симуляци хийж, нарны эсийн дулаан ялгаруулалт болон цахилгаан үйлдвэрлэлийн харьцааг тодорхойлсон. Судалгаагаар, бөмбөрцөг хэлбэрийн загвар нь нарны гэрэл тусгал болон эрчим хүчний үйлдвэрлэлийг нэмэгдүүлэх боломжтойг харуулсан. Albedo болон температурын нөлөөлөл зэрэг хүчин зүйлсийг тооцоолж, энэхүү технологи нь нарны эрчим хүчний хэрэглээг үр ашигтайгаар нэмэгдүүлэх боломжтойг баталжээ.**

Түлхүүр үг: Хоёр талт технологи ,Бөмбөрцөг хэлбэр,Эрчим хүчний үр ашиг ,Дулаан ялгаруулалт

I. УДИРТГАЛ

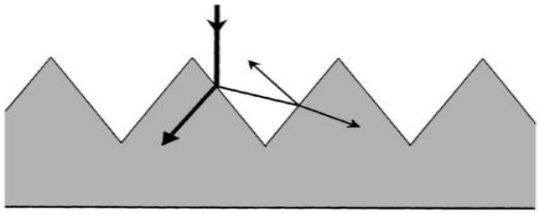
1. Сэргээгдэх эрчим хүчний дотроос нарны эрчим хүч нь тогтвортой, байгаль орчинд ээлтэй, хязгааргүй нөөцтэй тул дэлхий даяар эрчим хүчний үйлдвэрлэлийн голлох шийдэл болж байна. Гэвч уламжлалт нэг талт нарны хавтангууд зөвхөн нэг талаараа нарны гэрэл хүлээн авч, эрчим хүчний үйлдвэрлэлийн үр ашиг хязгаарлагдмал хэвээр байна. Сүүлийн жилүүдэд хоёр талт нарны хавтан (bifacial solar panel) технологи хөгжиж, нарны хавтангийн хоёр талд нарны гэрэл тусгаж, цахилгаан үйлдвэрлэх боломжийг бүрдүүлж байна. Гэсэн хэдий ч хавтгай нарны хавтан нь нарны гэрлийг тодорхой өнцгөөр хүлээн авах хязгаартай байдаг тул илүү үр ашигтай, шинэ шийдлүүд шаардлагатай байна.

Энэхүү судалгаанд бөмбөрцөг хэлбэртэй нарны цахилгаан-дулааны хосолсон үүсгүүрийн үр ашгийг судалж, Solar Advisor Model (SAM) программ ашиглан цахилгаан үйлдвэрлэл, дулаан ялгаруулалт, нарны гэрлийн тусгалын үр нөлөөг тооцоолсон. Судалгааны зорилго нь бөмбөрцөг хэлбэрийн нарны үүсгүүрийн ашиглалтын үр дүнг үнэлэх, цахилгаан болон дулааны хосолсон системийн оновчтой загварыг тодорхойлох явдал юм. Энэхүү судалгааны үр дүн нь Монголын нарны эрчим хүчний салбарт шинэ технологийг нэвтрүүлэх боломжийг судалж, сэргээгдэх эрчим хүчний үйлдвэрлэлийг сайжруулахад чухал ач холбогдолтой.

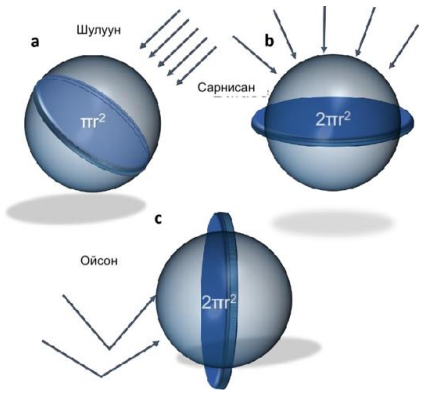
II. ОНОЛЫН ХЭСЭГ

1. Нарны эрчим хүч ба хоёр талт нарны хавтан

Нарны эрчим хүч нь дэлхийн хамгийн өргөн хэрэглэгддэг сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсвэрүүдийн нэг бөгөөд фотоцахилгаан (PV) технологиор дамжуулан цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэх боломжийг олгодог. Уламжлалт **нэг талт нарны хавтангууд** зөвхөн нэг талаараа нарны гэрлийг хүлээн авч, цахилгаан үүсгэдэг. Харин **хоёр талт нарны хавтан (bifacial solar panel)** нь **хоёр талаараа нарны гэрлийг хүлээн авч**, **нийт эрчим хүч үйлдвэрлэлийг 5–30%** хүртэл нэмэгдүүлэх боломжтой [1].



(а)



(б)

1-р зураг. (а) барзгар гадаргуу дээрх ойсон гэрэл, (б) бөмбөрцөг хэлбэрийн нарны модульд шууд цацраг, сарнисан цацраг, ойсон цацрагаар тусах дүрслэл. Бөмбөрцөг модуль нь хавтгай модулийн талбайгаас хоёр дахин их тусгалыг хүлэн авдаг.

Хоёр талт нарны хавтангийн давуу талууд:

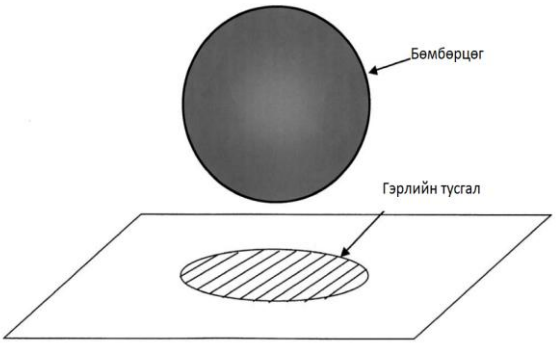
- **Албедо ашиглалт**: Газраас ойсон нарны цацрагийг шингээж, нэмэлт эрчим хүч үйлдвэрлэнэ.
- **Үр ашгийн өсөлт**: Нийт эрчим хүчний үйлдвэрлэл уламжлалт нэг талт хавтангаас **20%-иар** илүү байх боломжтой.
- **Уян хатан суурилуулалт**: Газар дээр, усан дээр, барилгын хананд гэх мэт олон нөхцөлд ашиглах боломжтой.

Хоёр талт нарны хавтан нь **байгалийн цацаргалт, гадаргуугийн тусгал (албедо), хавтангийн өндрийн байршил** зэрэг хүчин зүйлсээс хамааран гарах үр ашгаа өөрчилдөг [2].

2. Бөмбөрцөг хэлбэрийн нарны үүсгүүрийн онол

Уламжлалт хавтгай нарны хавтан нь нарны гэрлийг **нэг хавтгай дээр хүлээн авч**, зөвхөн тодорхой өнцгийн нарны цацрагийг шингээдэг сул талтай. Харин **бөмбөрцөг хэлбэртэй нарны үүсгүүр** нь **360° чиглэлд нарны гэрэл хүлээн авах боломжтой** тул илүү үр ашигтай ажиллах боломжтой [3].

Бөмбөрцгийн гадаргуу нь бүх талаасаа гэрлийг адилхан хүлээн авдаг. Өдөрт хуримтлагдсан гэрлийн энергийг ижил талбайтай хавтгай хавтан ба ижил тусгалын хооронд харьцуулсан болно.



2-р зураг. Бөмбөрцөг модулийн шууд гэрлийн тусгал дахь бүдүүвч зураг

Бөмбөрцөг хэлбэрийн нарны үүсгүүрийн давуу талууд:

- **Өглөө, орой, өдрийн турш жигд цахилгаан үйлдвэрлэнэ.**
- **Нарны гэрлийг олон өнцгөөс хүлээн авах чадвартай тул сүүдэрлэлтийн нөлөө багасна.**
- **Хосолсон системтэй байж болно** (жишээ нь, нарны дулааны технологитой хамт ашиглах).

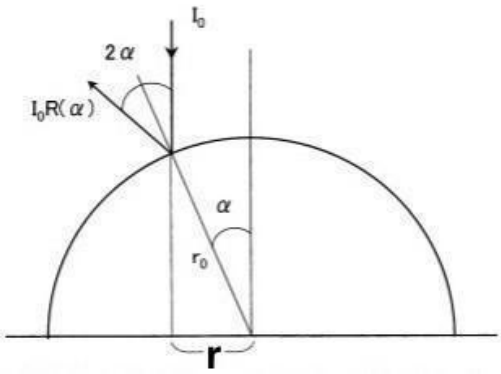
Бөмбөрцөг нарны хавтангийн онолын загварчлалд нарны **диффуз гэрэл, шууд тусгал, ойсон тусгал, температурын нөлөө** зэрэг хүчин зүйлсийг тооцох шаардлагатай [4].

3. Нарны дулааны эрчим хүч ба дулаан ялгаруулалт

Нарны хавтангийн бүтээмжийг тодорхойлох нэг гол хүчин зүйл нь **дулаан ялгаруулалт (heat dissipation)** юм. Өндөр температурт нарны эсийн үр ашиг буурдаг тул дулаан ялгаруулалтыг оновчтой зохицуулах нь чухал.

- **Температурын өсөлт ба үр ашиг**: Температур **10°C-аар нэмэгдэхэд** цахилгаан үйлдвэрлэлийн үр ашиг **0.3–0.5%-иар** буурдаг [5].
- **Дулааны удирдлагын аргачлалууд**:
  -Бөмбөрцөг хэлбэр нь **агаарын урсгалыг нэмэгдүүлж**, хөргөлтийг сайжруулдаг.
  -Материалын сонголт: Дулааныг шингээхгүй, хурдан гадагшлуулах чадвартай материал ашиглах.
  -Идэвхгүй хөргөлтийн систем: Тусгай бүрхүүл ашиглаж, нарны хэт улаан туяаны (IR) дулааныг бууруулах.

Бөмбөрцөг хэлбэрийн хоёр талт нарны хавтангийн онол нь дээрх хүчин зүйлсийг харгалзан үзэж, эрчим хүчний нийт үйлдвэрлэлийг нэмэгдүүлэхийг зорьж байна.



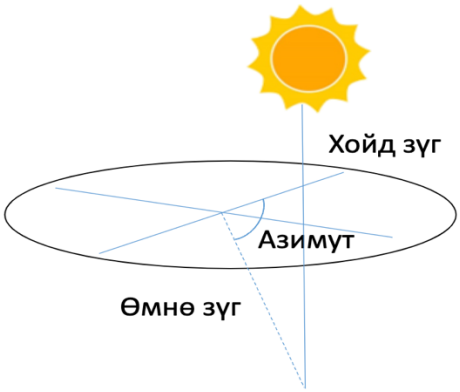
3-р зураг. Гэрлийн гадаргуу дээр туссан өнцөг, α

4. Загварчлал ба тооцооллын аргачлал

Энэхүү судалгаанд **Solar Advisor Model (SAM)** программыг ашиглан **хоёр талт нарны хавтан, бөмбөрцөг хэлбэрийн үүсгүүрийн цахилгаан үйлдвэрлэл, дулаан ялгаруулалтыг тооцоолсон**.

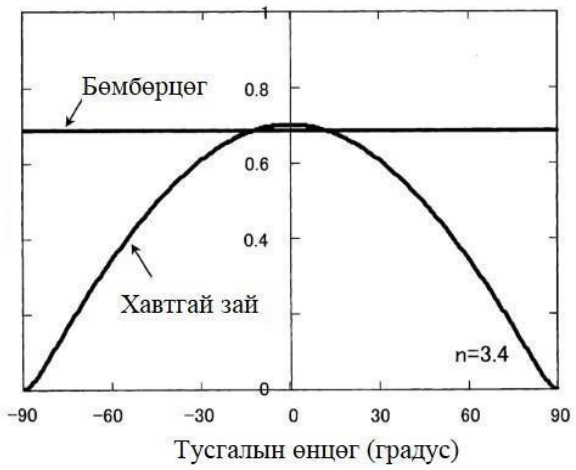
SAM загварчлалын үндсэн параметрүүд:

- **Нарны хавтангийн технологи**: Хоёр талт нарны хавтан
- **Материалын шинж чанар**: Multi-c-Si (Trina Solar TSM-250PA05A.18)
- **Нарны цацрагийн өгөгдөл**: Монгол орны нарны эрчим хүчний нөөц
- **Температурын хамаарал**: Дулаан ялгаруулалтын нөлөө
- **Албедо**: Гадаргуугийн тусгалын коэффициент



4-р зураг. Азимут налуугийн өнцгийн бүдүүвч

Загварчлалын үр дүнд **бөмбөрцөг хэлбэрийн нарны хавтангийн цахилгаан үйлдвэрлэл болон дулаан ялгаруулалт хэрхэн өөрчлөгдөж байгааг** нарийвчлан судалсан.



5-р зураг. Бөмбөрцөг болон хавтгай модулийн тусгалын өнцөг болон гэрэл нэвтрүүлэлтийн коэффициентын функц

Нарны гэрлийн тусгал:

Нарны хавтан дээр тусч байгаа нийт нарны гэрэл (I_{total}) нь шууд болон цацраг бүхий нарны гэрлээс бүрддэг:

$$I_{total} = I_{direct} + I_{diffuse} \quad (1)$$

I_{direct}- Нарны шууд гэрэл

$I_{diffuse}$- Агаар мандалд тархсан цацраг бүхий гэрэл

Бифациал нэмэгдэл хүчин зүйл (Bifacial Gain):

Бифациал хавтангийн ар талд нарны гэрлийн тусгал нь газар дээрх тусгалын **албедо** (тусгалтын харьцаа) хамаардаг.

$$B = \alpha \cdot I_{diffuse} \quad (2)$$

B - Bificial хавтангийн ар талын нэмэгдэл цахилгаан үйлдвэрлэлт

α - нь газрын албедо буюу тусгалын харьцаа

Нийт цахилгаан үйлдвэрлэл

Нарны хавтангийн нийт цахилгаан үйлдвэрлэлт нь өмнөх болон ар талын цахилгаан үйлдвэрлэлээс бүрдэнэ

$$P_{total} = P_{front} + P_{back} \quad (3)$$

$$P_{front} = A_{front} \cdot \eta_{front} \cdot I_{total}$$

$$P_{back} = A_{back} \cdot \eta_{back} \cdot B \cdot I_{diffuse}$$

A_{back}болон A_{front} нь нарны хавтангийн өмнөх ба ар талын талбайн хэмжээ

η_{front} болон η_{back} нь нарны хавтангийн өмнөх болон ар талын үр ашиг

III. СУДАЛГААНЫ ХЭСЭГ

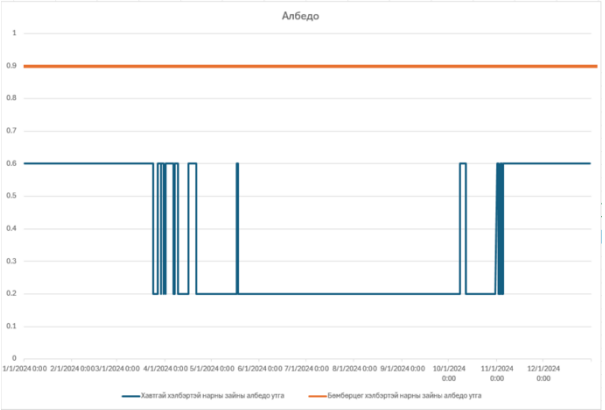
Судалгааны орчин

Судалгааны ажлыг Монгол орны байгаль, цаг уурын нөхцөлд **нийцүүлэн загварчилсан**. Монгол нь **жилийн дундаж 2700-3000 цагийн нарлаг** уур амьсгалтай тул нарны эрчим хүчний судалгаанд тохиромжтой бүс нутаг юм.

Үзүүлэлт	Утга
Судалгааны байршил	Улаанбаатар хот (жишээ байршил)
Өндөр (м)	1300 м
Жилийн дундаж нарны цацраг (kWh/m²/жил)	~1400-1600
Температурын дундаж (°C)	-30-аас +30
Албедо (%)	20-90

Бөмбөрцөг хэлбэрийн загвар

Энэхүү судалгаанд нарны хавтанг **бөмбөрцөг хэлбэртэй байрлуулах загвар** дээр ажилласан. Бөмбөрцөг хэлбэрийн загвар нь уламжлалт хавтгай нарны хавтангаас давуу талтай.



6-р зураг. Хавтгай панелийн албедо утгыг цаг уурын мэдээнээс татан бөмбөрцгийн албедлтлй харьцуулав.

Загварын үзүүлэлт	Утга
Нийт хавтангийн тоо	16 ширхэг
45° налуу, 360° чиглэлтэй	8 ширхэг
90° налуу, 45° өнцгийн өөрчлөлттэй	8 ширхэг
Тусгалын хүлээн авах өнцөг	360°
Дулаан ялгаруулалт	Сайжруулсан (агаарын урсгалыг нэмэгдүүлсэн)

3. Тооцооллын арга

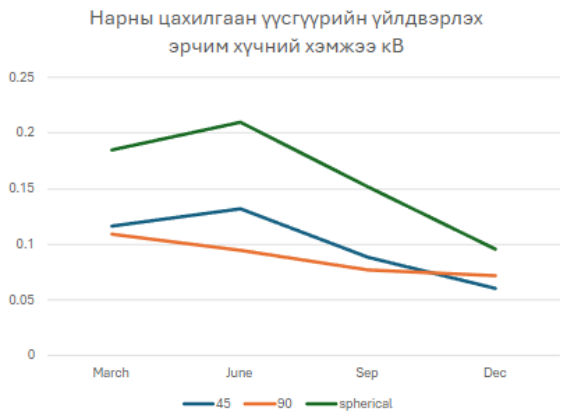
3.1 Solar Advisor Model (SAM) программын тохиргоо

- **Нарны эрчим хүчний өгөгдөл**: NASA болон Монгол орны цаг уурын өгөгдлийг үндэслэв.
- **Температурын нөлөөлөл**: Дулаан ялгаруулалтыг **агаарын урсгалын загварчлалаар** тооцоолов.
- **Албедо**: 0.2 - 0.9 хооронд тохируулан, газрын гадаргуугийн тусгалын нөлөөллийг судалсан.
- **Өглөө, өдөр, оройн цахилгаан үйлдвэрлэл**: Бөмбөрцөг загварын гэрэл хүлээн авах өнцгийг ашиглан **24 цагийн цахилгаан үйлдвэрлэл**-ийг тооцоолов.

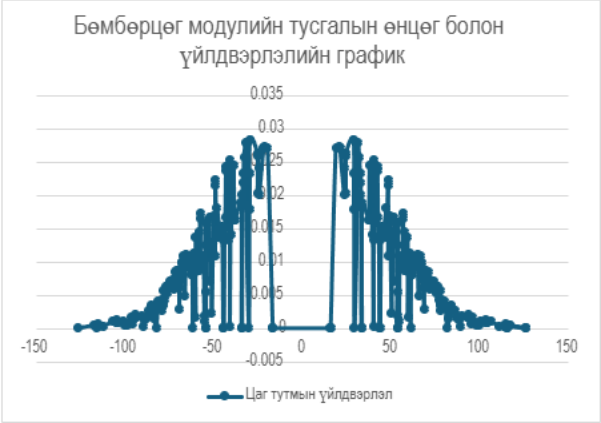
3.2 Дулаан ялгаруулалтын загварчлал

- **Бөмбөрцөг загвар** нь агаарын урсгалыг нэмэгдүүлж, хөргөлтийн системийг сайжруулдаг.

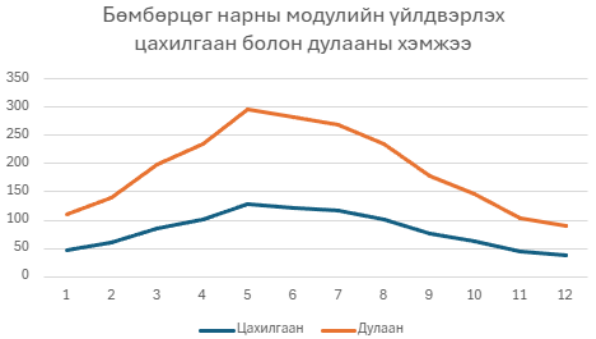
Үзүүлэлт	Хавтгай хавтан (нэг талт)	Хоёр талт хавтан	Бөмбөрцөг хэлбэр (хоёр талт)
Жилийн нийт үйлдвэрлэл (kWh)	800	960	1100
Бифациал нэмэгдэл (%)	-	+20%	+37%
Дулаан ялгаруулалт	Дунд зэрэг	Дунд	Сайн
Албедогийн нөлөө	Байхгүй	Дунд	Өндөр
Нарны тусгалын ашиглалт	Хязгаарлагдмал	Илүү сайн	360°



7-р зураг. Бөмбөрцөг хэлбэрийн нарны цахилгаан үүсгүүр болон хавтгай нарны цахилгаан үүсгүүрийн 45∘ 90∘ өнцөгтэй байрлуулсан үеийн эрчим хүч үйлдвэрлэлийн ялгаа



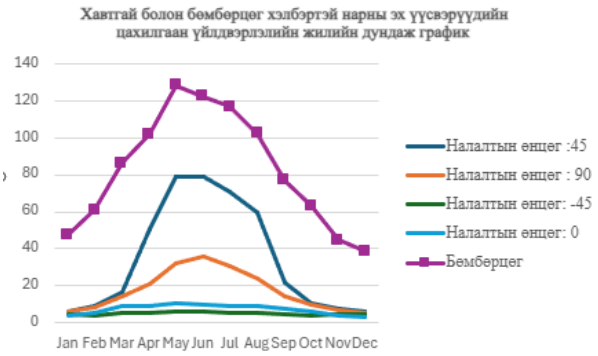
8-р зураг. Бөмбөрцөг хэлбэртэй нарны цахилгаан үүсгүүрийн үйлдвэрлэх өнцөг бүрийн үйлдвэрлэх эрчим хүчний график



9-р зураг. Бөмбөрцөг нарны цахилгаан болон дулааны үйлдвэрлэх хэмжээг жилийн 12 сараар симуляци хийсэн үр дүн

Хавтгай панелийг 45° , 90°, -45° болон 0° налуугийн өнцөгтэй суурилуулахад үйлдвэрлэгдэх цахилгаан эрчим хүчийг бөмбөрцөг хэлбэрийн ширхэг панел

бүрийн нөөцтэй харьцуулан үзүүлснээс 11 сард 45°-с 24%-аар, 5 сард 90°-с 36%-аар, 2 сард -45°-аас 177%-аар их цахилгаан эрчим хүчийг бөмбөрцөг нарны зай үйлдвэрлэхээр байна.



10-р зураг. Стандарт , хана , доошоо 45° , 0° өнцөгтэй хавтгай нарны цахилгаан үүсгүүр болон бөмбөрцөг хэлбэртэй нарны үүсгүүрийн модуль бүрийн сар болгоны нийт үйлдвэрлэх эрчим хүчний хэмжээ

Үр дүнгээс харахад:

- **Бөмбөрцөг хэлбэрийн хоёр талт нарны хавтан** нь уламжлалт хавтгай хавтангаас **37% илүү цахилгаан үйлдвэрлэж** байна.
- **Дулаан ялгаруулалт сайжирсан** тул температурын нөлөөлөл буурч, үр ашиг өссөн.
- **Албедогийн нөлөөлөл** ихэссэн нь нийт гарцыг нэмэгдүүлсэн.

11-р зураг. Зураг 7-с сэдэвчлэн хийгдсэн бөмбөрцөг хэлбэрийн нарны цахилгаан үүсгүүрийн макет

ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгаагаар бид **бөмбөрцөг хэлбэртэй бифациал нарны хавтан**-г ашиглан нарны цахилгаан дулаан хосолсон үүсгүүрийн эрчим хүчний үйлдвэрлэлийг тооцоолж, түүний үр ашгийг тодорхойлсон. Бифациал технологи нь нарны хавтангийн урд болон ар талын цахилгаан үйлдвэрлэлийн хосолсон үйлчлэлийг сайжруулж, газар дээрх албедо буюу тусгалын харьцаагаар эрчим хүчний нэмэгдэл үйлдвэрлэлийг бий болгодог.

- **Геометрийн загварчлал:** Бөмбөрцөг хэлбэртэй нарны хавтан нь нарны гэрлийг илүү үр ашигтайгаар шингээх боломжийг бүрдүүлдэг, мөн уг геометр нь хавтангийн хэмжээг багасгаж, өндөр эрчим хүчний үйлдвэрлэлд нөлөөлдөг.
- **Бифациал нэмэгдэл хүчин зүйл:** Ар талын цахилгаан үйлдвэрлэл нь газрын албедо болон цацраг бүхий гэрлийн тусгалтай холбоотойгоор нэмэгддэг. Энэ нь нарны хавтангийн ар талд цахилгаан үйлдвэрлэлийг нэмэгдүүлэхэд чухал нөлөөтэй.
- **Дулаан ялгаруулалт:** Нарны хавтангийн дулаан ялгаруулалт нь энергийн үр ашгийг бууруулах хүчин зүйл болж байгааг харуулсан бөгөөд дулаан ялгаруулалтын менежмент нь нарны эрчим хүчний системийн бүтээмжид чухал үүрэг гүйцэтгэдэг.
- **Үр ашиг ба технологийн амжилт:** Бифациал нарны хавтангийн үр ашиг нь нарны гэрлийн өнцөг, температурын өөрчлөлт болон газрын албедо гэх мэт олон хүчин зүйлсээс хамаардаг. Энэхүү технологи нь нарны эрчим хүчний хэрэглээг нэмэгдүүлж, сэргээгдэх эрчим хүчний салбарт шинэ боломжуудыг нээж өгнө.

Түүнчлэн, **SCAPS болон SAM программ** ашиглан системийн загварчлал хийх нь нарны эрчим хүчний үйлдвэрлэлийг нарийвчлан судалж, илүү сайн ойлголт олгоход тустай байсан. Энэ судалгаа нь **нарны эрчим хүчний үр ашгийг сайжруулах**, **сэргээгдэх эрчим хүчний технологиудыг дэмжих** болон **байгаль орчныг хамгаалах** чиглэлд хувь нэмэр оруулах боломжийг бий болгож байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] Ravi, R., & Yadav, A. (2020). Solar Energy Systems: Thermal and Electrical Systems. Springer.

[2] Zhao, X., & Lu, L. (2018). Bifacial Solar Cells: Technology and Applications. Wiley.

[3] Moser, D., & Yamaguchi, T. (2019). Solar Photovoltaic Systems: Modeling, Design, and Optimization. Elsevier.

[4] Rauschenbach, H., & Kessler, T. (2017). Solar Energy Technologies and Their Applications. Springer.

[5] Tian, H., & Yang, M. (2019). Bifacial Solar Panel Performance in Different Environments: A Review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 110, 33-42. https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.04.028

[6] Shao, J., & Zhang, L. (2020). Modeling of Spherical Solar Cells for High-Efficiency Photovoltaics. Journal of Renewable and Sustainable Energy, 12(2), 021502. https://doi.org/10.1063/1.5134749

[7] Du, Z., & Wang, Z. (2017). Thermal Management in Solar Photovoltaics: Principles, Techniques, and Applications. Wiley.

[8] Gonzalez-Longatt, F., & Calvino, G. (2019). Energy Systems and Technologies for the Future: Applications of Solar, Wind, and Other Renewable Sources. CRC Press

АГААРЫН ШУГАМЫН ДАВТАМЖ БОЛОН УРТААС ХАМААРСАН ПАРАМЕТРҮҮДИЙН ХЯЛБАРШУУЛСАН ТООЦООЛОЛ

Ц. СУМЪЯАРАГЧАА[1] С.АНХЗАЯА[1] Ц.ЧИНГЭС[2]
[1,2]Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Цахилгааны инженерийн салбар
Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: chingee@must.edu.mn

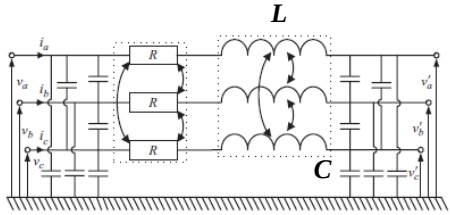
***Хураангуй*— Энэхүү өгүүлэлд ЦДАШ-ын цахилгаан параметрүүдийг хялбаршуулсан аргаар тооцлоо. Ингэхдээ шугамын уртыг 1м-аас 10км хооронд мөн давтамжийн утгыг 50 гц-аас 1000000 Гц хооронд өөрчлөв. Үр дүнг PSCAD/EMTDC –ийн LCC программын үр дүнтэй харьцуулан шалгалаа. Индукцлэлийн алдагдалтай газраар буцах гүйдэл болон гадаргуугийн нөлөөллийг аянгын болон сэлгэн залгалт, нэг фазын газардлагын үеийн өндөр давтамжтай симуляцийн дүн шинжилгээнд оруулж өгч, тодорхойлж байх хэрэгтэй нь тооцооны үр дүнгээс харагдлаа.**

Түлхүүр үг*— *актив эсэргүүцэл болон өөрийн нийт индукцлэл, хялбаршуулсан буцах газрын тооцоолол, гадаргуугийн эффект, давхар интеграл

I. Удиртгал

ЦДАШ-н (Цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын) тогтсон горимын нэг фазын газарддага, резонансын болон аянгын хэт хүчдэлийн тооцоонуудад хамгийн түрүүнд шугамын параметрүүдийг тодорхойлох алхам байдаг. Цахилгаан шугам сүлжээний тооцоонд актив эсэргүүцэл R, реактив эсэргүүцэл X-ийг цуваа холбосон орлуулгын схемээр шугамыг төлөөлүүлэн авч үздэг. Мөн актив дамжууламж G, багтаамжийн дамжууламж B-ийг зэрэгцээ холбож түүгээр нэвчилтийн ба багтаамжийн гүйдэл (ш) гүйнэ гэж үзэх бөгөөд тэр нь ачааллын хэмжээнээс хамаарахгүй зөвхөн ажлын хүчдэл, шугамын утас, хийцээс хамаарна [1]. Мөн утасны гадаргуу дээрх цэнэг Q үүсгэх харилцан үйлчлэлийн потенциалын коэффициентыг тооцдог.

1-р зурагт үзүүлсэн орлуулгын схемийн дунд эсэргүүцэл болон индукцлэл, схемийн эхэн ба төгсгөлд багтаамжийг байрлуулсныг шугамын П орлуулгын схем гэнэ.



1-р зураг. ЦДАШ-ын орлуулгын цахилгаан хэлхээ [2]

Дээрх схем нь R ба L индукцлэл нийлээд дагуу бүрэн эсэргүүцэл Z, хөндлөн бүрэн дамжууламжийг C төлөөлүүлэн орлуулдаг. Бүрэн эсэргүүцэл нь бодит ба хуурмаг эсэргүүцлээс тогтдог.

$$Z = R + j\omega L \qquad (1)$$
$$Y = j\omega C$$

Энд :
R - утасны материалын халалтаас үүдэлтэй нэгж урт дахь эсэргүүцэл, Ω/m
L - утасны нэгж уртад харгалзах индукцлэлүүд, μH/m
C - утасны нэгж урт дахь газартай харьцангуй багтаамж, μF/m

Цуваа холбогдсон бүрэн эсэргүүцэл Z болон газартай харьцангуй үүсэх хөндлөн дамжуулалт Y -ийг нарийвчлалтайгаар зөв тодорхойлох ЦДАШ-ын найдвартай ажиллагааны тооцоонд чухал ач холбогдолтой. Z, Y параметрүүд нь давтамжаас болон уртаас хамаардаг онцлогтой бөгөөд шугамын геометр хэмжээс, шинж чанараас (утасны бэхлэгдсэн өндөр, тулгуур, багц утас, кабель хэмжээс, хөрсний хувийн цахилгаан эсэргүүцэл) мөн газраар буцах гүйдэл, утасны гадаргуугийн эффект зэргээс шалтгаалан өөрчлөгддөг онцлогтой. 1920-д онд Bessel, Carson нарын эрдэмтэд эдгээр параметрүүдийг нарийвчлан тооцох аргачлалыг боловсруулсан ба 1981 оноос Deri-Semilyen [3] нарын санаачилсан тооцоонууд шугамын загварчлалд түгээмэл хэрэглэгддэг болсон.

Энэхүү өгүүлэлд ЦДАШ-ын эсэргүүцэл, индукцлэлийн шугамын урт болон давтамжийг өөрчлөн Deri-Semilyen-ийн хялбаршуулсан аргачлалаар тооцоолсон болно.

II. Дамжуулагчын эсэргүүцэл болон индукцлэлийн тооцооны арга зүй

1. Актив эсэргүүцэл

Цахилгаан гүйдэл нь голчлон дамжуулагчийн гадарга дээр, гадна гадаргуу ба дундаж гүн гэж нэрлэгддэг түвшний хооронд урсдаг. Дамжуулагч дахь гүйдэл нь дамжуулагч болон түүний эргэн тойронд соронзон орон үүсгэдэг. Гадаргуугийн гүн δ_c нь хувьсах гүйдлийн давтамжаас хамаардаг

бөгөөд давтамж нэмэгдэхийн хэрээр гүйдлийн урсгал нь гадаргуугийн ойролцоо төвлөрч, гадаргуугийн гүн багасдаг. Гадаргуугийн нөлөө нь дамжуулагчийн хөндлөн огтлолыг багасгаж, улмаар түүний эсэргүүцлийг нэмэгдүүлдэг.

$$\delta_c = \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot f \cdot \sigma \cdot \mu}} \qquad (2)$$

Үүнд; f – давтамж Гц, σ- тухайн дамжуулагч материалын хувийн цахилгаан дамжууламж Сим, μ - тогтмол соронзон нэвтрүүлэх чадвар , Н/м

Тогтмол хүчдэлтэй үед дамжуулагчийн эсэргүүцэл нь:

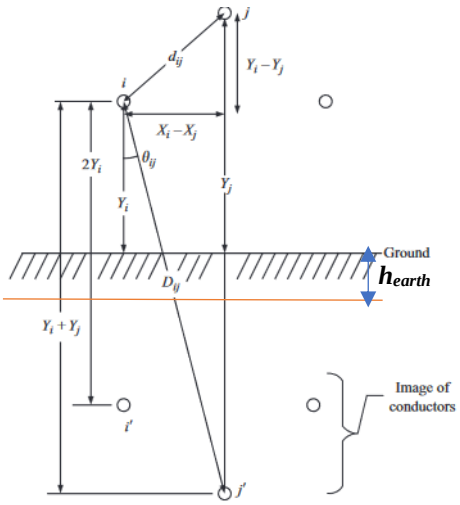
$$R_{dc} = \frac{\sigma}{A} l \qquad (3)$$

Хувьсах хүчдэлтэй үед дотоод соронзон орны нөлөөгөөр R давтамжаас хамааран өөрчлөгдөх үед дараах илэрхийлэл хүчин төгөлдөр. Үүнд α_R Бэсселийн функ ба хялбаршуулсан тооцоонд доорх илэрхийллээр тооцож болно.

$$R_{AC} = \alpha_R \cdot R_{dc} \cong \frac{1}{2\pi \cdot a \cdot \sigma \cdot \delta_c} \qquad (4)$$

2. *Шугамын индукцлэл*

Амьдрал дээр газрын гадаргуу нь үл мэдэгдэх цэнэгийн тархалттай байдаг учир хөрсний хувийн дамжууламжаас болоод дамжуулагч хавтгай болдог. Инженерийн тооцооны байдлаас шалтгаалаад газрын алдагдалгүй хавтгайгаар тооцоо хийдэг. Гэвч зарим үед дамжууламж нь ЦДШС, кабелын индукцлэлд нөлөөлөхөд хүргэдэг. Дамжуулагчийн газраар буцах гүйдлийн нөлөөгөөр үүсгэх индукцлэл нь Deri-Semilyen бусад эрдэмтдийн комплекс дундаж нэвтрэх гүнд тооцогддог (2- р зураг).



2-р зураг. Газрын гадаргуу дээгүүр байрласан дамжуулагчууд болон түүний толин дүрслэл [2]

Утсаар гүйх I гүйдлээр үүсгэх индукцлэлийн харилцан үйлчлэлийн тэгшитгэлийг бичвэл хоёр байгуулагчаас тогтоно [4].

$$L_0 = j\omega \frac{\mu}{4\pi}\left[\mathrm{Re}\,al + \mathrm{Im}\,age\right]$$

$$\mathrm{Re}\,al = \int_0^{L_1}\int_0^{L_2} \frac{1}{d}\partial x_i \partial x_j \;;\; d = \sqrt{\left(x_i - x_j\right)^2 + a^2}$$

$$\mathrm{Im}\,age = \int_0^{L_1}\int_0^{L_2} \frac{1}{D'}\partial x_i \partial x_j \;\; D' = \sqrt{\left(x_i - x_j\right)^2 + \left(2h_i + 2h_{earth}\right)^2} \qquad (5)$$

Үүнд: *L*- шугамын урт, *d*- *i* ба *j* утасны хоорондох зай, Y_i-Y_j нь геометр хэмжээ ба *d*-тэй тэнцүү байж болно, D_{ij}- *i* утас ба *j* дугаар утасны толин дүрслэл дэх хоорондын зай, h_{earth} – complex penetration depth буюу дамжуулагчийн дундаж нэвтрэлтийн гүн. Индукцлэлийн шийд нь давхар интеграл бодоход шилжинэ. Интегралын шийд нь натурал логарифмын бодлогод шилждэг онцлогтой.

$$\int \frac{dx}{\sqrt{x^2 + a^2}} = \ln(x + \sqrt{x^2 + a^2}) + C \qquad (6)$$

Bessel функц нь дамжууламжийн дотоод соронзон орон, соронзон шинж чанарыг тооцоход хэрэглэгддэг. Шугамын индукцлэлийн тооцоололд Bessel-ийн функц нь нэмэлт алгоритмаар дамжиж боддог тул хүндрэлтэй байдаг. Гадаргуугийн эффектийг дараах хялбаршуулсан байдлаар тодорхойлсон болно.

$$L_{skin} = \frac{2\pi \cdot a \cdot \sigma \cdot \delta_c}{2\pi f} \qquad (7)$$

Эцэст нь утасны өөрийн үүсгэх нийт индукцлэл нь дараах байдлаар бичигдэнэ.

$$L = L_0 + L_{skin} \qquad (8)$$

III. ТООЦООНЫ ҮР ДҮН БА ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

1. *LCC программын тооцооны үр дүнтэй харьцуулсан байдал*

50 Гц давтамжтай, 60м урттай, 8.7 м өндөрт бэхлэгдсэн нэг утастай, 4.7 мм радиустай шугамын загвар болон PSCAD –ын доторх *LCC (line constant computation)* программын тооцоолсон үр дүнг 3-р зурагт тус тус оруулав.

```
PSCAD LINE CONSTANTS PROGRAM OUTPUT FILE (*.out)

NOTE: This file is auto-generated.  Any manual
      changes will be lost once the Line Constants
      Program is re-run.
=====================================================

Display Format: M,N denotes a complex number M + jN


-----------------------------------------------------
PHASE DOMAIN DATA @     50.000 Hz:
-----------------------------------------------------

SERIES IMPEDANCE MATRIX (Z) [ohms/m]:
   0.828047952E-04,0.786848065E-03

SHUNT ADMITTANCE MATRIX (Y) [mhos/m]:
   0.100000000E-10,0.215916191E-08
```

3-р зураг. PSCAD –ын параметр тооцоолдог программын гаргасан үр дүн болон утасны тооцооны өгөгдлүүд

Энэ өгүүллийн (8) тэгшитгэлээр бодсон утгыг LCC программын үр дүнтэй харьцуулан үзлээ. LCC–ын бүрэн эсэргүүцэл $Z = j0.786848065 \cdot 10^{-3}$ Ω/м буюу индуклэл нь:

$$L = \frac{0.786848065 \cdot 10^{-3}}{2\pi f} = 2.5\mu H / m \quad (8)$$

(8) тэгшитгэлийн шийд нь ойролцоогоор 2.1 μH/м гарсан нь 16%-иар бага гарсан болно.

2. Давтамж болон шугамын уртаас хамаарсан эсэргүүцэл индукцлэлийн тооцооны үр дүн

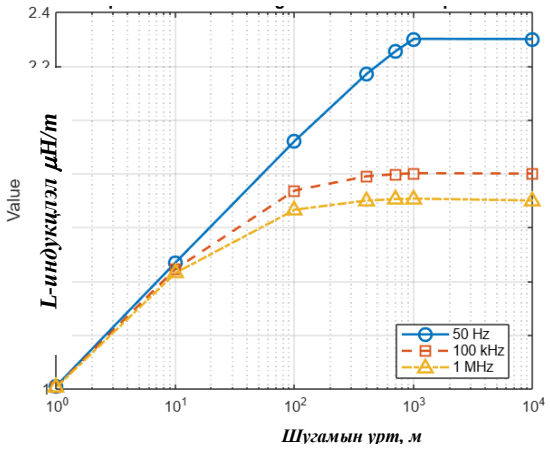
8.7 м өндөрт бэхлэгдсэн нэг утастай, 4.7 мм радиустай шугамын жишээн дээр тооцоог гүйцэтгэв. Хувьсах гүйдэлд ажиллах байгаа дамжуулагчийн бодит эсэргүүцэл дотоод соронзон орны нөлөөгөөр хэрхэн ихсэж байгаа хүснэгт.1-д үзүүлэв. Хүснэгтээс харахад өндөр давтамжтай нөхцөлүүдэд заавал гадаргуугийн эффектийг тооцох ёстойг харуулж байна.

1-Р ХҮСНЭГТ. ГАДАРГУУГЫН ЭФФЕКТЫН ГҮН δ_c БОЛОН ЭСЭРГҮҮЦЛИЙН ҮР ДҮН

f, Гц	*50*	*1000*	*10000*	*100000*
δ_c (м)	$9.3 \cdot 10^{-3}$	$2.1 \cdot 10^{-3}$	$6.5 \cdot 10^{-4}$	$2.0 \cdot 10^{-4}$
R_{AC} (Ω/м)	$62.9 \cdot 10^{-6}$	$28.1 \cdot 10^{-5}$	$8.8 \cdot 10^{-4}$	$2.8 \cdot 10^{-3}$

4-р зургаас харахад давтамж ихсэхэд L-ийн утга буурсан дүр зураг харагдаж байгаа бол эсэргүүцэл R (хүснэгт-1) ихэсдэг шинж чанартай байна.

Шугамын урт ихсэхэд R болон L утгууд тодорхой утгандаа хүрээнд цаашид тогтворжиж шинж чанартай болохыг үзүүлэв.



4-р зураг. Утасны өөрийн индукцлэл урт болон давтамжаас хамаарсан муруйнууд

ДҮГНЭЛТ

Энэ өгүүлэлд өндөр хүчдэлийн ЦДАШ-ын орлуулгын схемийн параметрүүд болох актив эсэргүүцэл болон индукцлэлүүдийг хялбаршуулсан арга дээр үндэслэн давтамж болон шугамын нийт уртаас нь хамааруулсан тооцоог хийж үзлээ.

1- Шугамын параметрүүдийн нарийвчилсан тооцоо нь аливаа шугам сүлжээний горим, гэмтлийн зайг тодорхойлох болон аянга хамгаалалтын тооцооны өмнө зайлшгүй анхааралдаа авч үзэж байх ёстой тооцооны эхлэлийн чухал хэсэг болно.

2- Давтамж ихсэхэд эсэргүүцэл нэмэгдэн, индукцлэл нь буурсан характеристиктэй бол шугамын урт нэмэгдэхэд параметрүүдийн утгууд 10 км–ээс эхлээд тогтворждог онцлог шинж чанартай байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] Ш.Гантөмөр. Цахилгаан шугам сүлжээ, систем. ШУТИС-ЭХИС сурах бичиг.

[2] Watson, Neville & Arrillaga, Jos. (2018). Power Systems Electromagnetic Transients Simulation.

[3] DERI, A., TEVAN, G., SEMLYEN, A. and CASTANHEIRA, A.: 'The complex ground return plane, a simplified model for homogenous and multi-layer earth return', IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1981

[4] X. Zhang, Y. Zhang, and X. Xiao, "An improved approach for modeling lightning transients of wind turbines," International Journal of Electrical Power Energy Systems, vol. 101, pp. 429–438, 2018.

АГААРЫН ШУГАМЫН ДАВТАМЖ БОЛОН УРТААС ХАМААРСАН ПАРАМЕТРҮҮДИЙН ХЯЛБАРШУУЛСАН ТООЦООЛОЛ

Ц. СУМЪЯАРАГЧАА[1] С.АНХЗАЯА[1] Ц.ЧИНГЭС[2]
[1,2]Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Цахилгааны инженерийн салбар
Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: chingee@must.edu.mn

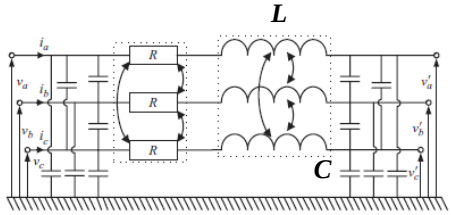
***Хураангуй*— Энэхүү өгүүлэлд ЦДАШ-ын цахилгаан параметрүүдийг хялбаршуулсан аргаар тооцлоо. Ингэхдээ шугамын уртыг 1м-аас 10км хооронд мөн давтамжийн утгыг 50 гц-аас 1000000 Гц хооронд өөрчлөв. Үр дүнг PSCAD/EMTDC –ийн LCC программын үр дүнтэй харьцуулан шалгалаа. Индукцлэлийн алдагдалтай газраар буцах гүйдэл болон гадаргуугийн нөлөөллийг аянгын болон сэлгэн залгалт, нэг фазын газардлагын үеийн өндөр давтамжтай симуляцийн дүн шинжилгээнд оруулж өгч, тодорхойлж байх хэрэгтэй нь тооцооны үр дүнгээс харагдлаа.**

Түлхүүр үг*— *актив эсэргүүцэл болон өөрийн нийт индукцлэл, хялбаршуулсан буцах газрын тооцоолол, гадаргуугийн эффект, давхар интеграл

I. Удиртгал

ЦДАШ-н (Цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын) тогтсон горимын нэг фазын газарддага, резонансын болон аянгын хэт хүчдэлийн тооцоонуудад хамгийн түрүүнд шугамын параметрүүдийг тодорхойлох алхам байдаг. Цахилгаан шугам сүлжээний тооцоонд актив эсэргүүцэл R, реактив эсэргүүцэл X-ийг цуваа холбосон орлуулгын схемээр шугамыг төлөөлүүлэн авч үздэг. Мөн актив дамжууламж G, багтаамжийн дамжууламж B-ийг зэрэгцээ холбож түүгээр нэвчилтийн ба багтаамжийн гүйдэл (ш) гүйнэ гэж үзэх бөгөөд тэр нь ачааллын хэмжээнээс хамаарахгүй зөвхөн ажлын хүчдэл, шугамын утас, хийцээс хамаарна [1]. Мөн утасны гадаргуу дээрх цэнэг Q үүсгэх харилцан үйлчлэлийн потенциалын коэффициентыг тооцдог.

1-р зурагт үзүүлсэн орлуулгын схемийн дунд эсэргүүцэл болон индукцлэл, схемийн эхэн ба төгсгөлд багтаамжийг байрлуулсныг шугамын П орлуулгын схем гэнэ.



1-р зураг. ЦДАШ-ын орлуулгын цахилгаан хэлхээ [2]

Дээрх схем нь R ба L индукцлэл нийлээд дагуу бүрэн эсэргүүцэл Z, хөндлөн бүрэн дамжууламжийг C төлөөлүүлэн орлуулдаг. Бүрэн эсэргүүцэл нь бодит ба хуурмаг эсэргүүцлээс тогтдог.

$$Z = R + j\omega L \qquad (1)$$
$$Y = j\omega C$$

Энд :
R - утасны материалын халалтаас үүдэлтэй нэгж урт дахь эсэргүүцэл, Ω/m
L - утасны нэгж уртад харгалзах индукцлэлүүд, μH/m
C - утасны нэгж урт дахь газартай харьцангуй багтаамж, μF/m

Цуваа холбогдсон бүрэн эсэргүүцэл Z болон газартай харьцангуй үүсэх хөндлөн дамжуулалт Y -ийг нарийвчлалтайгаар зөв тодорхойлох ЦДАШ-ын найдвартай ажиллагааны тооцоонд чухал ач холбогдолтой. Z, Y параметрүүд нь давтамжаас болон уртаас хамаардаг онцлогтой бөгөөд шугамын геометр хэмжээс, шинж чанараас (утасны бэхлэгдсэн өндөр, тулгуур, багц утас, кабель хэмжээс, хөрсний хувийн цахилгаан эсэргүүцэл) мөн газраар буцах гүйдэл, утасны гадаргуугийн эффект зэргээс шалтгаалан өөрчлөгддөг онцлогтой. 1920-д онд Bessel, Carson нарын эрдэмтэд эдгээр параметрүүдийг нарийвчлан тооцох аргачлалыг боловсруулсан ба 1981 оноос Deri-Semilyen [3] нарын санаачилсан тооцоонууд шугамын загварчлалд түгээмэл хэрэглэгддэг болсон.

Энэхүү өгүүлэлд ЦДАШ-ын эсэргүүцэл, индукцлэлийн шугамын урт болон давтамжийг өөрчлөн Deri-Semilyen-ийн хялбаршуулсан аргачлалаар тооцоолсон болно.

II. Дамжуулагчын эсэргүүцэл болон индукцлэлийн тооцооны арга зүй

1. Актив эсэргүүцэл

Цахилгаан гүйдэл нь голчлон дамжуулагчийн гадарга дээр, гадна гадаргуу ба дундаж гүн гэж нэрлэгддэг түвшний хооронд урсдаг. Дамжуулагч дахь гүйдэл нь дамжуулагч болон түүний эргэн тойронд соронзон орон үүсгэдэг. Гадаргуугийн гүн δ_c нь хувьсах гүйдлийн давтамжаас хамаардаг

бөгөөд давтамж нэмэгдэхийн хэрээр гүйдлийн урсгал нь гадаргуугийн ойролцоо төвлөрч, гадаргуугийн гүн багасдаг. Гадаргуугийн нөлөө нь дамжуулагчийн хөндлөн огтлолыг багасгаж, улмаар түүний эсэргүүцлийг нэмэгдүүлдэг.

$$\delta_c = \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot f \cdot \sigma \cdot \mu}} \qquad (2)$$

Үүнд; f – давтамж Гц, σ- тухайн дамжуулагч материалын хувийн цахилгаан дамжууламж Сим, μ - тогтмол соронзон нэвтрүүлэх чадвар , Н/м

Тогтмол хүчдэлтэй үед дамжуулагчийн эсэргүүцэл нь:

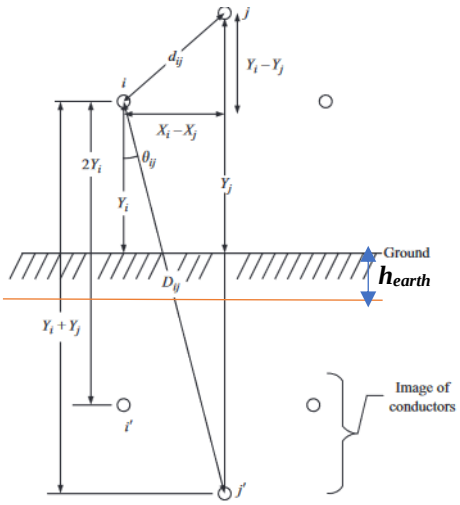
$$R_{dc} = \frac{\sigma}{A} l \qquad (3)$$

Хувьсах хүчдэлтэй үед дотоод соронзон орны нөлөөгөөр R давтамжаас хамааран өөрчлөгдөх үед дараах илэрхийлэл хүчин төгөлдөр. Үүнд α_R Бэсселийн функ ба хялбаршуулсан тооцоонд доорх илэрхийллээр тооцож болно.

$$R_{AC} = \alpha_R \cdot R_{dc} \cong \frac{1}{2\pi \cdot a \cdot \sigma \cdot \delta_c} \qquad (4)$$

2. *Шугамын индукцлэл*

Амьдрал дээр газрын гадаргуу нь үл мэдэгдэх цэнэгийн тархалттай байдаг учир хөрсний хувийн дамжууламжаас болоод дамжуулагч хавтгай болдог. Инженерийн тооцооны байдлаас шалтгаалаад газрын алдагдалгүй хавтгайгаар тооцоо хийдэг. Гэвч зарим үед дамжууламж нь ЦДШС, кабелын индукцлэлд нөлөөлөхөд хүргэдэг. Дамжуулагчийн газраар буцах гүйдлийн нөлөөгөөр үүсгэх индукцлэл нь Deri-Semilyen бусад эрдэмтдийн комплекс дундаж нэвтрэх гүнд тооцогддог (2- р зураг).



2-р зураг. Газрын гадаргуу дээгүүр байрласан дамжуулагчууд болон түүний толин дүрслэл [2]

Утсаар гүйх I гүйдлээр үүсгэх индукцлэлийн харилцан үйлчлэлийн тэгшитгэлийг бичвэл хоёр байгуулагчаас тогтоно [4].

$$L_0 = j\omega \frac{\mu}{4\pi}\left[\mathrm{Re}\,al + \mathrm{Im}\,age\right]$$

$$\mathrm{Re}\,al = \int_0^{L_1}\int_0^{L_2} \frac{1}{d}\partial x_i \partial x_j \;;\; d = \sqrt{\left(x_i - x_j\right)^2 + a^2}$$

$$\mathrm{Im}\,age = \int_0^{L_1}\int_0^{L_2} \frac{1}{D'}\partial x_i \partial x_j \;\; D' = \sqrt{\left(x_i - x_j\right)^2 + \left(2h_i + 2h_{earth}\right)^2} \qquad (5)$$

Үүнд: *L*- шугамын урт, *d*- *i* ба *j* утасны хоорондох зай, Y_i-Y_j нь геометр хэмжээ ба *d*-тэй тэнцүү байж болно, D_{ij}- *i* утас ба *j* дугаар утасны толин дүрслэл дэх хоорондын зай, h_{earth} – complex penetration depth буюу дамжуулагчийн дундаж нэвтрэлтийн гүн. Индукцлэлийн шийд нь давхар интеграл бодоход шилжинэ. Интегралын шийд нь натурал логарифмын бодлогод шилждэг онцлогтой.

$$\int \frac{dx}{\sqrt{x^2 + a^2}} = \ln(x + \sqrt{x^2 + a^2}) + C \qquad (6)$$

Bessel функц нь дамжууламжийн дотоод соронзон орон, соронзон шинж чанарыг тооцоход хэрэглэгддэг. Шугамын индукцлэлийн тооцоололд Bessel-ийн функц нь нэмэлт алгоритмаар дамжиж боддог тул хүндрэлтэй байдаг. Гадаргуугийн эффектийг дараах хялбаршуулсан байдлаар тодорхойлсон болно.

$$L_{skin} = \frac{2\pi \cdot a \cdot \sigma \cdot \delta_c}{2\pi f} \qquad (7)$$

Эцэст нь утасны өөрийн үүсгэх нийт индукцлэл нь дараах байдлаар бичигдэнэ.

$$L = L_0 + L_{skin} \qquad (8)$$

III. ТООЦООНЫ ҮР ДҮН БА ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

1. *LCC программын тооцооны үр дүнтэй харьцуулсан байдал*

50 Гц давтамжтай, 60м урттай, 8.7 м өндөрт бэхлэгдсэн нэг утастай, 4.7 мм радиустай шугамын загвар болон PSCAD –ын доторх *LCC (line constant computation)* программын тооцоолсон үр дүнг 3-р зурагт тус тус оруулав.

```
PSCAD LINE CONSTANTS PROGRAM OUTPUT FILE (*.out)

NOTE: This file is auto-generated.  Any manual
      changes will be lost once the Line Constants
      Program is re-run.
=====================================================

Display Format: M,N denotes a complex number M + jN


-----------------------------------------------------
PHASE DOMAIN DATA @     50.000 Hz:
-----------------------------------------------------

SERIES IMPEDANCE MATRIX (Z) [ohms/m]:
   0.828047952E-04,0.786848065E-03

SHUNT ADMITTANCE MATRIX (Y) [mhos/m]:
   0.100000000E-10,0.215916191E-08
```

3-р зураг. PSCAD –ын параметр тооцоолдог программын гаргасан үр дүн болон утасны тооцооны өгөгдлүүд

Энэ өгүүллийн (8) тэгшитгэлээр бодсон утгыг LCC программын үр дүнтэй харьцуулан үзлээ. LCC–ын бүрэн эсэргүүцэл $Z = j0.786848065 \cdot 10^{-3}$ Ω/м буюу индуклэл нь:

$$L = \frac{0.786848065 \cdot 10^{-3}}{2\pi f} = 2.5\mu H / m \quad (8)$$

(8) тэгшитгэлийн шийд нь ойролцоогоор 2.1 μH/м гарсан нь 16%-иар бага гарсан болно.

2. Давтамж болон шугамын уртаас хамаарсан эсэргүүцэл индукцлэлийн тооцооны үр дүн

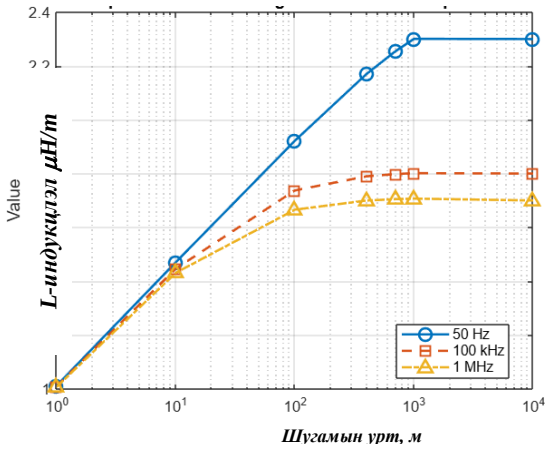
8.7 м өндөрт бэхлэгдсэн нэг утастай, 4.7 мм радиустай шугамын жишээн дээр тооцоог гүйцэтгэв. Хувьсах гүйдэлд ажиллах байгаа дамжуулагчийн бодит эсэргүүцэл дотоод соронзон орны нөлөөгөөр хэрхэн ихсэж байгаа хүснэгт.1-д үзүүлэв. Хүснэгтээс харахад өндөр давтамжтай нөхцөлүүдэд заавал гадаргуугийн эффектийг тооцох ёстойг харуулж байна.

1-Р ХҮСНЭГТ. ГАДАРГУУГЫН ЭФФЕКТЫН ГҮН δ_c БОЛОН ЭСЭРГҮҮЦЛИЙН ҮР ДҮН

f, Гц	*50*	*1000*	*10000*	*100000*
δ_c (м)	$9.3 \cdot 10^{-3}$	$2.1 \cdot 10^{-3}$	$6.5 \cdot 10^{-4}$	$2.0 \cdot 10^{-4}$
R_{AC} (Ω/м)	$62.9 \cdot 10^{-6}$	$28.1 \cdot 10^{-5}$	$8.8 \cdot 10^{-4}$	$2.8 \cdot 10^{-3}$

4-р зургаас харахад давтамж ихсэхэд L-ийн утга буурсан дүр зураг харагдаж байгаа бол эсэргүүцэл R (хүснэгт-1) ихэсдэг шинж чанартай байна.

Шугамын урт ихсэхэд R болон L утгууд тодорхой утгандаа хүрээнд цаашид тогтворжиж шинж чанартай болохыг үзүүлэв.



4-р зураг. Утасны өөрийн индукцлэл урт болон давтамжаас хамаарсан муруйнууд

ДҮГНЭЛТ

Энэ өгүүлэлд өндөр хүчдэлийн ЦДАШ-ын орлуулгын схемийн параметрүүд болох актив эсэргүүцэл болон индукцлэлүүдийг хялбаршуулсан арга дээр үндэслэн давтамж болон шугамын нийт уртаас нь хамааруулсан тооцоог хийж үзлээ.

1- Шугамын параметрүүдийн нарийвчилсан тооцоо нь аливаа шугам сүлжээний горим, гэмтлийн зайг тодорхойлох болон аянга хамгаалалтын тооцооны өмнө зайлшгүй анхааралдаа авч үзэж байх ёстой тооцооны эхлэлийн чухал хэсэг болно.

2- Давтамж ихсэхэд эсэргүүцэл нэмэгдэн, индукцлэл нь буурсан характеристиктэй бол шугамын урт нэмэгдэхэд параметрүүдийн утгууд 10 км–ээс эхлээд тогтворждог онцлог шинж чанартай байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] Ш.Гантөмөр. Цахилгаан шугам сүлжээ, систем. ШУТИС-ЭХИС сурах бичиг.

[2] Watson, Neville & Arrillaga, Jos. (2018). Power Systems Electromagnetic Transients Simulation.

[3] DERI, A., TEVAN, G., SEMLYEN, A. and CASTANHEIRA, A.: 'The complex ground return plane, a simplified model for homogenous and multi-layer earth return', IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1981

[4] X. Zhang, Y. Zhang, and X. Xiao, "An improved approach for modeling lightning transients of wind turbines," International Journal of Electrical Power Energy Systems, vol. 101, pp. 429–438, 2018.

АГААРЫН ШУГАМЫН ДАВТАМЖ БОЛОН УРТААС ХАМААРСАН ПАРАМЕТРҮҮДИЙН ХЯЛБАРШУУЛСАН ТООЦООЛОЛ

Ц. СУМЪЯАРАГЧАА[1] С.АНХЗАЯА[1] Ц.ЧИНГЭС[2]
[1,2]Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Цахилгааны инженерийн салбар
Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: chingee@must.edu.mn

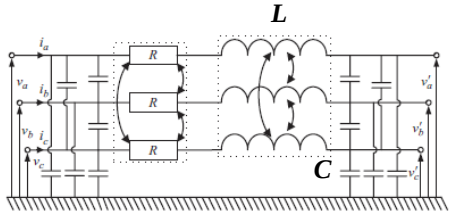
***Хураангуй*— Энэхүү өгүүлэлд ЦДАШ-ын цахилгаан параметрүүдийг хялбаршуулсан аргаар тооцлоо. Ингэхдээ шугамын уртыг 1м-аас 10км хооронд мөн давтамжийн утгыг 50 гц-аас 1000000 Гц хооронд өөрчлөв. Үр дүнг PSCAD/EMTDC –ийн LCC программын үр дүнтэй харьцуулан шалгалаа. Индукцлэлийн алдагдалтай газраар буцах гүйдэл болон гадаргуугийн нөлөөллийг аянгын болон сэлгэн залгалт, нэг фазын газардлагын үеийн өндөр давтамжтай симуляцийн дүн шинжилгээнд оруулж өгч, тодорхойлж байх хэрэгтэй нь тооцооны үр дүнгээс харагдлаа.**

Түлхүүр үг*— *актив эсэргүүцэл болон өөрийн нийт индукцлэл, хялбаршуулсан буцах газрын тооцоолол, гадаргуугийн эффект, давхар интеграл

I. Удиртгал

ЦДАШ-н (Цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын) тогтсон горимын нэг фазын газарддага, резонансын болон аянгын хэт хүчдэлийн тооцоонуудад хамгийн түрүүнд шугамын параметрүүдийг тодорхойлох алхам байдаг. Цахилгаан шугам сүлжээний тооцоонд актив эсэргүүцэл R, реактив эсэргүүцэл X-ийг цуваа холбосон орлуулгын схемээр шугамыг төлөөлүүлэн авч үздэг. Мөн актив дамжууламж G, багтаамжийн дамжууламж B-ийг зэрэгцээ холбож түүгээр нэвчилтийн ба багтаамжийн гүйдэл (ш) гүйнэ гэж үзэх бөгөөд тэр нь ачааллын хэмжээнээс хамаарахгүй зөвхөн ажлын хүчдэл, шугамын утас, хийцээс хамаарна [1]. Мөн утасны гадаргуу дээрх цэнэг Q үүсгэх харилцан үйлчлэлийн потенциалын коэффициентыг тооцдог.

1-р зурагт үзүүлсэн орлуулгын схемийн дунд эсэргүүцэл болон индукцлэл, схемийн эхэн ба төгсгөлд багтаамжийг байрлуулсныг шугамын П орлуулгын схем гэнэ.



1-р зураг. ЦДАШ-ын орлуулгын цахилгаан хэлхээ [2]

Дээрх схем нь R ба L индукцлэл нийлээд дагуу бүрэн эсэргүүцэл Z, хөндлөн бүрэн дамжууламжийг C төлөөлүүлэн орлуулдаг. Бүрэн эсэргүүцэл нь бодит ба хуурмаг эсэргүүцлээс тогтдог.

$$Z = R + j\omega L \qquad (1)$$
$$Y = j\omega C$$

Энд :
R - утасны материалын халалтаас үүдэлтэй нэгж урт дахь эсэргүүцэл, Ω/m
L - утасны нэгж уртад харгалзах индукцлэлүүд, μH/m
C - утасны нэгж урт дахь газартай харьцангуй багтаамж, μF/m

Цуваа холбогдсон бүрэн эсэргүүцэл Z болон газартай харьцангуй үүсэх хөндлөн дамжуулалт Y -ийг нарийвчлалтайгаар зөв тодорхойлох ЦДАШ-ын найдвартай ажиллагааны тооцоонд чухал ач холбогдолтой. Z, Y параметрүүд нь давтамжаас болон уртаас хамаардаг онцлогтой бөгөөд шугамын геометр хэмжээс, шинж чанараас (утасны бэхлэгдсэн өндөр, тулгуур, багц утас, кабель хэмжээс, хөрсний хувийн цахилгаан эсэргүүцэл) мөн газраар буцах гүйдэл, утасны гадаргуугийн эффект зэргээс шалтгаалан өөрчлөгддөг онцлогтой. 1920-д онд Bessel, Carson нарын эрдэмтэд эдгээр параметрүүдийг нарийвчлан тооцох аргачлалыг боловсруулсан ба 1981 оноос Deri-Semilyen [3] нарын санаачилсан тооцоонууд шугамын загварчлалд түгээмэл хэрэглэгддэг болсон.

Энэхүү өгүүлэлд ЦДАШ-ын эсэргүүцэл, индукцлэлийн шугамын урт болон давтамжийг өөрчлөн Deri-Semilyen-ийн хялбаршуулсан аргачлалаар тооцоолсон болно.

II. Дамжуулагчын эсэргүүцэл болон индукцлэлийн тооцооны арга зүй

1. Актив эсэргүүцэл

Цахилгаан гүйдэл нь голчлон дамжуулагчийн гадарга дээр, гадна гадаргуу ба дундаж гүн гэж нэрлэгддэг түвшний хооронд урсдаг. Дамжуулагч дахь гүйдэл нь дамжуулагч болон түүний эргэн тойронд соронзон орон үүсгэдэг. Гадаргуугийн гүн δ_c нь хувьсах гүйдлийн давтамжаас хамаардаг

бөгөөд давтамж нэмэгдэхийн хэрээр гүйдлийн урсгал нь гадаргуугийн ойролцоо төвлөрч, гадаргуугийн гүн багасдаг. Гадаргуугийн нөлөө нь дамжуулагчийн хөндлөн огтлолыг багасгаж, улмаар түүний эсэргүүцлийг нэмэгдүүлдэг.

$$\delta_c = \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot f \cdot \sigma \cdot \mu}} \qquad (2)$$

Үүнд; f – давтамж Гц, σ- тухайн дамжуулагч материалын хувийн цахилгаан дамжууламж Сим, μ - тогтмол соронзон нэвтрүүлэх чадвар , Н/м

Тогтмол хүчдэлтэй үед дамжуулагчийн эсэргүүцэл нь:

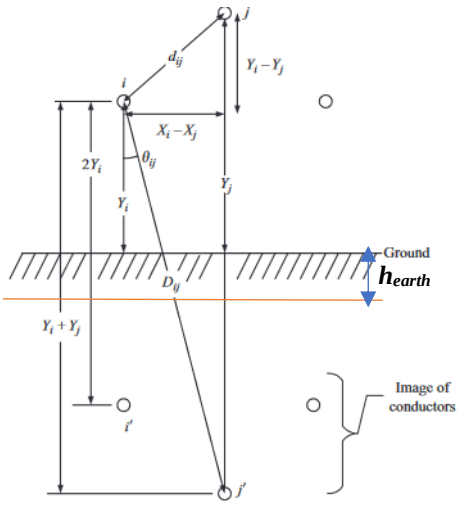
$$R_{dc} = \frac{\sigma}{A} l \qquad (3)$$

Хувьсах хүчдэлтэй үед дотоод соронзон орны нөлөөгөөр R давтамжаас хамааран өөрчлөгдөх үед дараах илэрхийлэл хүчин төгөлдөр. Үүнд α_R Бэсселийн функ ба хялбаршуулсан тооцоонд доорх илэрхийллээр тооцож болно.

$$R_{AC} = \alpha_R \cdot R_{dc} \cong \frac{1}{2\pi \cdot a \cdot \sigma \cdot \delta_c} \qquad (4)$$

2. *Шугамын индукцлэл*

Амьдрал дээр газрын гадаргуу нь үл мэдэгдэх цэнэгийн тархалттай байдаг учир хөрсний хувийн дамжууламжаас болоод дамжуулагч хавтгай болдог. Инженерийн тооцооны байдлаас шалтгаалаад газрын алдагдалгүй хавтгайгаар тооцоо хийдэг. Гэвч зарим үед дамжууламж нь ЦДШС, кабелын индукцлэлд нөлөөлөхөд хүргэдэг. Дамжуулагчийн газраар буцах гүйдлийн нөлөөгөөр үүсгэх индукцлэл нь Deri-Semilyen бусад эрдэмтдийн комплекс дундаж нэвтрэх гүнд тооцогддог (2- р зураг).



2-р зураг. Газрын гадаргуу дээгүүр байрласан дамжуулагчууд болон түүний толин дүрслэл [2]

Утсаар гүйх I гүйдлээр үүсгэх индукцлэлийн харилцан үйлчлэлийн тэгшитгэлийг бичвэл хоёр байгуулагчаас тогтоно [4].

$$L_0 = j\omega \frac{\mu}{4\pi}\left[\mathrm{Re}\,al + \mathrm{Im}\,age\right]$$

$$\mathrm{Re}\,al = \int_0^{L_1}\int_0^{L_2} \frac{1}{d}\partial x_i \partial x_j \;;\; d = \sqrt{\left(x_i - x_j\right)^2 + a^2}$$

$$\mathrm{Im}\,age = \int_0^{L_1}\int_0^{L_2} \frac{1}{D'}\partial x_i \partial x_j \;\; D' = \sqrt{\left(x_i - x_j\right)^2 + \left(2h_i + 2h_{earth}\right)^2} \qquad (5)$$

Үүнд: *L*- шугамын урт, *d*- *i* ба *j* утасны хоорондох зай, Y_i-Y_j нь геометр хэмжээ ба *d*-тэй тэнцүү байж болно, D_{ij}- *i* утас ба *j* дугаар утасны толин дүрслэл дэх хоорондын зай, h_{earth} – complex penetration depth буюу дамжуулагчийн дундаж нэвтрэлтийн гүн. Индукцлэлийн шийд нь давхар интеграл бодоход шилжинэ. Интегралын шийд нь натурал логарифмын бодлогод шилждэг онцлогтой.

$$\int \frac{dx}{\sqrt{x^2 + a^2}} = \ln(x + \sqrt{x^2 + a^2}) + C \qquad (6)$$

Bessel функц нь дамжууламжийн дотоод соронзон орон, соронзон шинж чанарыг тооцоход хэрэглэгддэг. Шугамын индукцлэлийн тооцоололд Bessel-ийн функц нь нэмэлт алгоритмаар дамжиж боддог тул хүндрэлтэй байдаг. Гадаргуугийн эффектийг дараах хялбаршуулсан байдлаар тодорхойлсон болно.

$$L_{skin} = \frac{2\pi \cdot a \cdot \sigma \cdot \delta_c}{2\pi f} \qquad (7)$$

Эцэст нь утасны өөрийн үүсгэх нийт индукцлэл нь дараах байдлаар бичигдэнэ.

$$L = L_0 + L_{skin} \qquad (8)$$

III. ТООЦООНЫ ҮР ДҮН БА ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

1. *LCC программын тооцооны үр дүнтэй харьцуулсан байдал*

50 Гц давтамжтай, 60м урттай, 8.7 м өндөрт бэхлэгдсэн нэг утастай, 4.7 мм радиустай шугамын загвар болон PSCAD –ын доторх *LCC (line constant computation)* программын тооцоолсон үр дүнг 3-р зурагт тус тус оруулав.

```
PSCAD LINE CONSTANTS PROGRAM OUTPUT FILE (*.out)

NOTE: This file is auto-generated.  Any manual
      changes will be lost once the Line Constants
      Program is re-run.
==================================================

Display Format: M,N denotes a complex number M + jN


--------------------------------------------------
PHASE DOMAIN DATA @     50.000 Hz:
--------------------------------------------------

SERIES IMPEDANCE MATRIX (Z) [ohms/m]:
   0.828047952E-04,0.786848065E-03

SHUNT ADMITTANCE MATRIX (Y) [mhos/m]:
   0.100000000E-10,0.215916191E-08
```

3-р зураг. PSCAD –ын параметр тооцоолдог программын гаргасан үр дүн болон утасны тооцооны өгөгдлүүд

Энэ өгүүллийн (8) тэгшитгэлээр бодсон утгыг LCC программын үр дүнтэй харьцуулан үзлээ. LCC–ын бүрэн эсэргүүцэл $Z = j0.786848065 \cdot 10^{-3}$ Ω/м буюу индуклэл нь:

$$L = \frac{0.786848065 \cdot 10^{-3}}{2\pi f} = 2.5\mu H / m \quad (8)$$

(8) тэгшитгэлийн шийд нь ойролцоогоор 2.1 μH/м гарсан нь 16%-иар бага гарсан болно.

2. Давтамж болон шугамын уртаас хамаарсан эсэргүүцэл индукцлэлийн тооцооны үр дүн

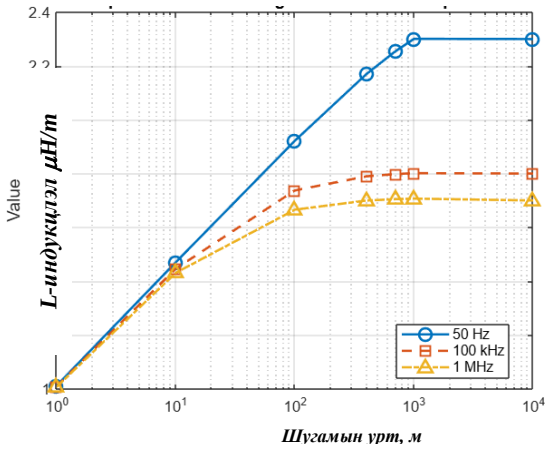
8.7 м өндөрт бэхлэгдсэн нэг утастай, 4.7 мм радиустай шугамын жишээн дээр тооцоог гүйцэтгэв. Хувьсах гүйдэлд ажиллах байгаа дамжуулагчийн бодит эсэргүүцэл дотоод соронзон орны нөлөөгөөр хэрхэн ихсэж байгаа хүснэгт.1-д үзүүлэв. Хүснэгтээс харахад өндөр давтамжтай нөхцөлүүдэд заавал гадаргуугийн эффектийг тооцох ёстойг харуулж байна.

1-Р ХҮСНЭГТ. ГАДАРГУУГЫН ЭФФЕКТЫН ГҮН δ_c БОЛОН ЭСЭРГҮҮЦЛИЙН ҮР ДҮН

f, Гц	*50*	*1000*	*10000*	*100000*
δ_c (м)	$9.3 \cdot 10^{-3}$	$2.1 \cdot 10^{-3}$	$6.5 \cdot 10^{-4}$	$2.0 \cdot 10^{-4}$
R_{AC} (Ω/м)	$62.9 \cdot 10^{-6}$	$28.1 \cdot 10^{-5}$	$8.8 \cdot 10^{-4}$	$2.8 \cdot 10^{-3}$

4-р зургаас харахад давтамж ихсэхэд L-ийн утга буурсан дүр зураг харагдаж байгаа бол эсэргүүцэл R (хүснэгт-1) ихэсдэг шинж чанартай байна.

Шугамын урт ихсэхэд R болон L утгууд тодорхой утгандаа хүрээнд цаашид тогтворжиж шинж чанартай болохыг үзүүлэв.



4-р зураг. Утасны өөрийн индукцлэл урт болон давтамжаас хамаарсан муруйнууд

ДҮГНЭЛТ

Энэ өгүүлэлд өндөр хүчдэлийн ЦДАШ-ын орлуулгын схемийн параметрүүд болох актив эсэргүүцэл болон индукцлэлүүдийг хялбаршуулсан арга дээр үндэслэн давтамж болон шугамын нийт уртаас нь хамааруулсан тооцоог хийж үзлээ.

1- Шугамын параметрүүдийн нарийвчилсан тооцоо нь аливаа шугам сүлжээний горим, гэмтлийн зайг тодорхойлох болон аянга хамгаалалтын тооцооны өмнө зайлшгүй анхааралдаа авч үзэж байх ёстой тооцооны эхлэлийн чухал хэсэг болно.

2- Давтамж ихсэхэд эсэргүүцэл нэмэгдэн, индукцлэл нь буурсан характеристиктэй бол шугамын урт нэмэгдэхэд параметрүүдийн утгууд 10 км–ээс эхлээд тогтворждог онцлог шинж чанартай байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] Ш.Гантөмөр. Цахилгаан шугам сүлжээ, систем. ШУТИС-ЭХИС сурах бичиг.

[2] Watson, Neville & Arrillaga, Jos. (2018). Power Systems Electromagnetic Transients Simulation.

[3] DERI, A., TEVAN, G., SEMLYEN, A. and CASTANHEIRA, A.: 'The complex ground return plane, a simplified model for homogenous and multi-layer earth return', IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1981

[4] X. Zhang, Y. Zhang, and X. Xiao, "An improved approach for modeling lightning transients of wind turbines," International Journal of Electrical Power Energy Systems, vol. 101, pp. 429–438, 2018.

ЦАХИЛГААН ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ ЗОХИСТОЙ ХЭРЭГЛЭЭНИЙ ҮР АШИГ

Бат-Эрдэнийн ЛХАГВАДУЛАМ[1], Батдэлгэрийн ОДОНГУА[2], Бат-Очирын БАТЗАЯА

[1]Монгол Улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Цахилгааны инженерийн салбар

Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: baterdenelkhagwadulam@gmail.com[1]

Хураангуй: **Улс орны хөгжлийн тулгуур нь эрчим хүчний салбар байдаг. Монгол улсын эрчим хүчний системийн суурилагдсан хүчин чадал нь эрэлтээ бүрэн хааж чадахгүйн улмаас импортын цахилгаан эрчим хүч худалдан авахаас гадна хэрэглээний хязгаарлалт хийгдэж байна. Эрчим хүчний салбар нь их хэмжээний хөрөнгө оруулалт шаарддаг бөгөөд эрчим хүчний барилга байгууламжийг барих хугацаа харьцангуй урт байдаг. Эрчим хүчний өсөлт нь хэрэглэгчийн тооны өсөлтөөс гадна хэрэглээний зохисгүй байдлаас болж үүсдэг. Энэ ажлын хүрээнд эрчим хүчний хэмнэлтийн тухай, түүнийг хэрэгжүүлэх арга замууд, эрчим хүчний ахуйн хэрэглэгчийн цахилгаан эрчим хүчний эрэлт, нийлүүлэлтийн хэмжээг судлан зохистой хэрэглээг төлөвшүүлснээр үүсэх хэмнэлт, хүлэмжийн хийн ялгаруулалтыг бууруулж болох хэмжээ зэргийг тодорхойлно.**

Түлхүүр үг: цахилгаан эрчим хүч, зохистой хэрэглээ, хэмнэлт

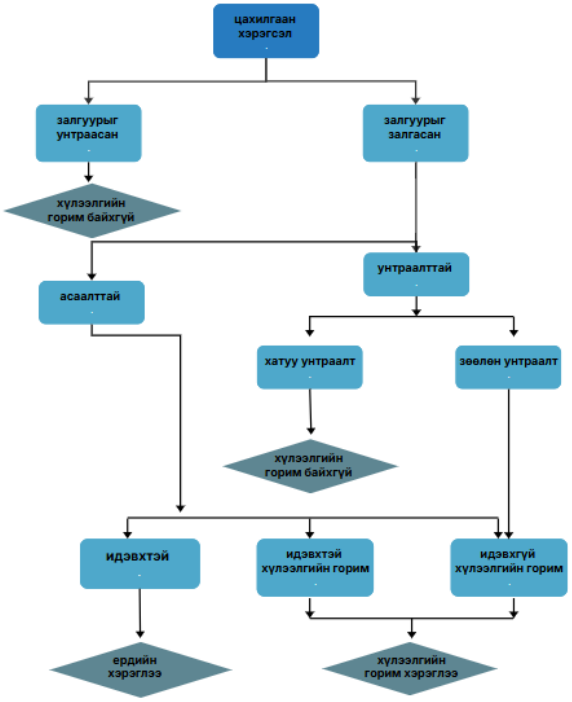
I. УДИРТГАЛ

Өнөөгийн нийгэмд эрчим хүчний хэрэглээ байнга өссөөр байгаа нь эрчим хүчний хангамжийн асуудлыг хүндрүүлэх, байгаль орчинд сөргөөр нөлөөлөх үндсэн хүчин зүйлсийн нэг болж байна. Тиймээс эрчим хүчний ухаалаг хэрэглээ, хэмнэлтийн арга замуудыг хэрэгжүүлэх нь тогтвортой хөгжлийн чухал хэсэг юм. Хэрэглэгчдийн хувьд эрчим хүчний хэрэглээг ухаалгаар төлөвлөж, хүлээлгийн горим зэрэг ашиггүй хэрэглээг багасгах нь мөнгөн хөрөнгөө хэмнэх, байгаль орчныг хамгаалахад чухал ач холбогдолтой. Монгол улсын хэмжээнд 2023 онд цахилгаан эрчим хүчний хэрэглэгчдийн тоо 871089 байсан бөгөөд 9.7 хувь нь аж ахуй нэгж, 44.6 хувь нь орон сууц, 45.7 хувь нь гэр хорооллын айл өрх байна. Цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээг өөрсдийн өрхийн хэрэглээнд үндэслэн тодорхойлсон болно. Бидний хэмнэсэн цахилгаан эрчим хүч нь нэг талаас өөр хэрэглэгчийг хангах боломжийг олгоно.

II. ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ ХЭМНЭЛТ

Эрчим хүчний хэмнэлт нь цахилгаан хэрэглээг үр ашигтай болгох, аюулгүй, байгаль орчинд ээлтэй аргаар ашиглахад чиглэгдсэн үйл ажиллагаа юм [1]. Эрчим хүчний хэмнэлт нь хэрэглэгчийн зардлыг бууруулах төдийгүй, эрчим хүчний нөөцийн ашиглалтыг урт хугацаанд оновчтой зохицуулах боломжийг бүрдүүлж хүлэмжийн хийн ялгаруулалтыг бууруулах боломжтой [2].

Эрчим хүчний ухаалаг хэрэглээ нь цахилгаан хэрэгслийн ашиглалт, үр ашгийг нэмэгдүүлэх, хэмнэлттэй тоног төхөөрөмж ашиглах, хэрэгцээгүй цахилгаан хэрэглээнээс зайлсхийх зэрэг олон аргаар хэрэгждэг [3].



1-р зураг. Хүлээлгийн горимын зураглал

Төхөөрөмжийг унтраасан (off) байдалд байгаа үед, энэ нь идэвхтэй хүлээх (active standby) горим, идэвхгүй хүлээх (passive standby) горим, эсвэл идэвхтэй/хэвийн (active/normal) горимд ажиллаж байж болно [4].

- Идэвхтэй/хэвийн горим: төхөөрөмж нь ердийн хэрэглээгээр ажиллаж байна.
- Идэвхтэй хүлээх горим: Төхөөрөмжийн дотоод систем асаалттай хэвээр байдаг бөгөөд шуурхай ажиллах боломжтой. Жишээлбэл: дохиоллын систем, зурагт, рүтер зэрэг орно.
- Идэвхгүй хүлээх горим: Төхөөрөмжийн унтраалга ассан (on) эсвэл soft-off байгаа үед,

төхөөрөмж нь амралт (sleep mode) эсвэл идэвхгүй хүлээх горимд байж болно. Энэ нь бараг унтраастай боловч цөөн хэдэн функц хадгалаатай байдаг. Жишээлбэл: цагийн дэлгэцтэй төхөөрөмж, зай цэнэглэгч зэрэг орно.

Өрхийн ихэнх тоног төхөөрөмжүүд гадаад цахилгаан хангамжтай (батарей эсвэл тогтмол эрчим хүчний эх үүсвэргүй үед гаднаас тэжээл авдаг систем) тул хүлээлгийн горимд эрчим хүч хэрэглэдэг. Сүүлийн жилүүдэд ийм тоног төхөөрөмжийн тоо хурдтайгаар нэмэгдэж байна. Хүлээлгийн горимд эрчим хүчийг хэрэглэдэг олон төхөөрөмжүүд байдаг. Үүнд:

1. Цахилгаан унтраалгагүй төхөөрөмжүүд;
2. Алсын удирдлагатай төхөөрөмжүүд;
3. LED статус гэрэлтэй төхөөрөмжүүд;
4. LED статус гэрэл бүхий дэлгэцтэй төхөөрөмжүүд;
5. Санах ойн хадгалалтын функцтэй төхөөрөмжүүд;
6. Эрчим хүчний хангамжийн бүтээмж муутай төхөөрөмжүүд;
7. Гадаад цахилгаан хангамжтай төхөөрөмжүүд, ихэнхдээ, цахилгаан сүлжээнд байнга холбогдсон байдаг.

Аливаа тоног төхөөрөмжийн хүлээлгийн горимын чадал нь 0.5 - 10 Вт хооронд байдаг.Энэ нь тухайн төхөөрөмжийн чадлаас шууд хамааралтай (Meier, 2001). Өрхийн нийт хэрэглээнд хүлээлгийн горимд багагүй хэмжээний эрчим хүч зарцуулдаг. Нэг өрхийн хүлээлгийн горимд зарцуулдаг хүчин чадал нь хоногт дунджаар 23-112 Вт-ын хооронд хэлбэлзэж байдаг.

Европын холбооны нэг өрхийн жилийн хүлээлгийн горимын хэрэглээ нь цахилгаан эрчим хүчний жилийн нийт эрчим хүчний хэрэглээний 7 орчим хувийг эзэлж байна. Энэ нь Европын Холбооны хэмжээнд 1300 орчим өрхийн судалгаагаар тогтоогдсон болно.

Хэрэглэгчдэд зохистой хэрэглээг төлөвшүүлж эрчим хүч хэмнэх тоног төхөөрөмжийн хүлээлгийн горимыг тооцохдоо дараах аргуудыг ашиглана. Үүнд:

Төхөөрөмжийн хүлээлгийн горимын дундаж хэрэглээг дараах томьёогоор тодорхойлно [5].

$$Y = \sum_{i=1}^{n} X_i \qquad (1)$$

X_i – төхөөрөмжийн хүлээлгийн горимын чадал
n – төхөөрөмжийн тоо

Өрхийн хүлээлгийн горимын дундаж хэрэглээг дараах томьёогоор тодорхойлно:

$$ST_i = \frac{\sum_{i=1}^{n} H}{n} \qquad (2)$$

H – нэг өрхийн хүлээлгийн горимын чадал
n – өрхийн тоо

Улсын дундаж хүлээлгийн горимын хэрэглээ:

$$STC_i = ST_i * N \qquad (3)$$

N – нийт өрх

Төхөөрөмжийн хүлээлгийн эрчим хүчний хэрэглээ:

$$x_c = x * t_{ST} \qquad (4)$$

X – тухайн төхөөрөмжийн горим дах хүлээлгийн чадал
t_{st} – хүлээлгийн горимын үргэлжлэх хугацаа

III. ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ ЗОХИСТОЙ ХЭРЭГЛЭХ АРГУУД

Цахилгаан эрчим хүчийг зохистой хэрэглэх олон аргууд байдаг бөгөөд түүнээс хүлээлгийн горим, оргил цагийн ачаалал шилжүүлэх болон төхөөрөмжүүдийг тэжээлээс салгах аргуудыг ашиглан тооцоо хийх тул товч тодорхойлолтуудыг дараах байдлаар харууллаа.

Хүлээлгийн горим буюу Standby горим нь төхөөрөмжүүдийг идэвхгүй болгосноор эрчим хүчийг хэмнэх боломжийг олгодог. Энэ горимд байх үед төхөөрөмжүүд богино хугацаанд идэвхжихэд бэлэн байх боловч их хэмжээний эрчим хүч зарцуулахгүй. Standby Mode горимыг унтраах нь дараах давуу талтай. Үүнд:

- Эрчим хүч хэмнэх: Судалгаагаар Standby Mode горимыг идэвхгүй болгосноор гэрийн нийт цахилгаан хэрэглээний 5-10 хүртэлх хувийг хэмнэх боломжтой.
- Цахилгааны зардал бууруулах: Хэрэглээний зардлыг бууруулахад тусалдаг бөгөөд энэ нь гэрийн төсөвт эерэг нөлөө үзүүлдэг.

Төхөөрөмжүүдийг унтраах нь Standby-ооc илүү үр дүнтэй арга юм. Энэ нь:

- Эрчим хүчийг 100 хувь хэмнэх: Төхөөрөмжүүдийг бүрэн унтрааснаар эрчим хүчний хэрэглээг зогсоож, хэмнэлт гаргана.
- Төхөөрөмжийн ашиглалтын хугацааг уртасгах: Төхөөрөмжийг унтраах нь дулаан, зэврэлтээс сэргийлж, ашиглалтын хугацааг уртасгадаг.

Оргил цагийн ачаалал шилжүүлэх Цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээ хамгийн их байгаа цагийг оргил цагийн ачаалал гэнэ. Энэ үед эрчим хүчний системийн ачаалал ихсэж, зарим тоног төхөөрөмжийн ажиллагаанд хүндрэл учруулдаг. Иймээс ачаалал шилжүүлэх дараах стратегиудыг ашиглаж болно. Үүнд:

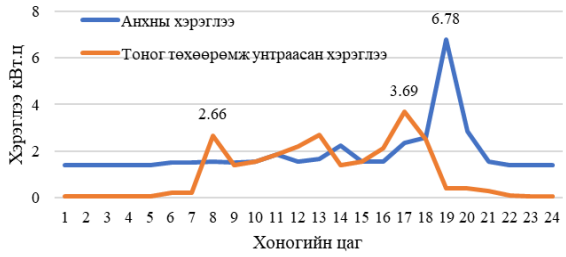
- Хэрэглээг тэнцвэржүүлэх: Оргил цагийн хэрэглээг шилжүүлэх замаар хоногийн ачааллын графикийг тэгшитгэх.
- Хуримтлуурын станц ашиглах: Сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсвэрүүдийг батарей хуримтлууртай хослуулан ашиглах нь оргил ачааллын үеийн хэрэглээг хаахад тустай.

IV. ТООЦООНЫ ҮР ДҮН

Монгол Улсын хувьд цаг уурын байдал, хэрэглэгчдийн амьдралын хэв маяг, үйлдвэрийн ээлжийн тоо зэргээс хамааран оргил ачаалал 17-21 цагийн хооронд ажиглагддаг бөгөөд 2023 онд оргил ачаалал 12-р сарын 21нд 1636 МВт хүрсэн байна. [6] Өрхийн цахилгаан эрчим хүчний хоногийн хэрэглээнд өөрчлөлт оруулалгүйгээр оргил цагийн үеийн ачааллыг бууруулах байдлаар шилжүүлэг хийж. 2-р зурагт харуулав.

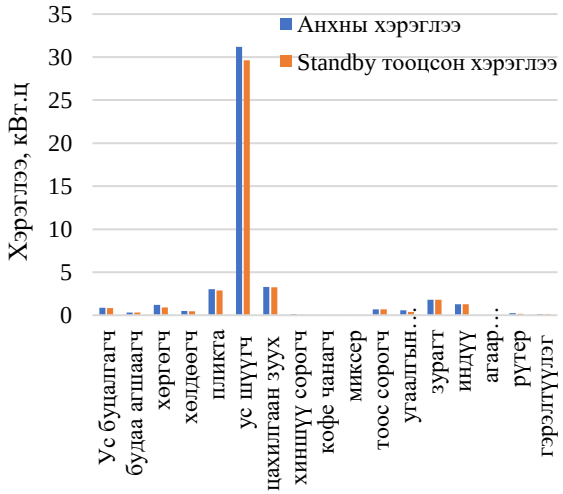
2-р зураг. Ачаалал шилжүүлэх

2024 оны 1-р сарын 10 байдлаар Монгол Улсын эрчим хүчний суурилагдсан хүчин чадал 1554 МВт, хэрэглээний өсөлт 5.4 хувь байна. Эрчим хүчний чадлын дутагдалтай байгаа энэ үед хэрэглэгчдэд зохистой хэрэглээг бий болгож ашиглагдахгүй байгаа тоног төхөөрөмжөө унтраах хэрэгтэй. Үүний үр дүнд нэг өрхийн хэрэглээнд өдөрт 43 хувийн хэмнэлт гаргах боломжтой бөгөөд орон сууцны нийт өрхөд хэрэгжүүлсэн тохиолдолд жилд 2782.1 сая.кВт.ц хэмнэх боломжтой. Энэ нь нийт хэрэглээний 25.3 хувийг эзэлж байна. 3- р зурагт харуулав.



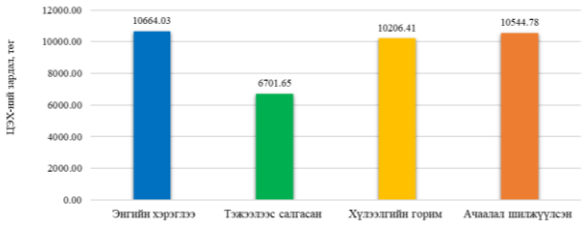
3-р зураг. Тэжээлээс салгах үеийн хэмнэлт

Standby буюу хүлээлгийн горим тооцсоноор хоногт 2.49 кВт.ц хэмнэх боломжтой нь тооцооны үр дүнгээр гарсан. 2023 онд цахилгаан эрчим хүчний хэрэглэгчдийн 44.6 хувь буюу 388568 орон сууцны айл өрх байна. Хоногт 967 мян.кВт.ц эрчим хүч хэмнэх боломжтой. Жилд 352.9 сая.кВт.ц 2023 онд нийт 10975.9 сая.кВт.ц эрчим хүч хэрэглэсэн бөгөөд 3.2% эзэлж байна. 4- р зурагт харуулав.



4-р зураг. Standby харьцуулалт

Өрхийн цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээг Төвийн бүсийн нэгдсэн системийн айл өрхөд мөрдөгдөж байгаа 2 тарифт тоолуурын үнээр тооцож хоногт ашигласан цахилгаан эрчим хүчний зардлыг нэгтгэн 5-р зурагт харууллаа.



5-р зураг. Хоногийн цахилгааны зардлын харьцуулалт

Нэг өрхийн цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээг хоногт хүлээлгийн горимын үед 4.5 хувиар, 457.62 төгрөгөөр тэжээлээс салгасан үед 43.4 хувиар, 3962.38 төгрөгөөр бууруулж цахилгаан эрчим хүчний зардлыг тус тус хэмнэх боломжтой байна.

Монгол улсын хэмжээнд 388568 орон сууцны хэрэглэгчтэй бөгөөд хэрэглэгчдэд эрчим хүчний зохиотой хэрэглээг төлөвшүүлэх дээрх аргуудыг хэрэглэснээр өдөрт хүлээлгийн горимын үед 177.81 сая.төг тэжээлээс салгасан үед 1539 сая.төг оргил цагийн ачаалал шилжүүлсэн үед 46.33 сая төгрөгөөр эрчим хүчний зардлыг бууруулах боломжтой байна [6].

Тус аргуудыг хэрэгжүүлснээр байгаль орчинд үзүүлэх эерэг нөлөөллийг тооцож доорх хүснэгтэд харуулав.

БАЙГАЛЬ ОРЧИНД ҮЗҮҮЛЭХ НӨЛӨӨЛӨЛ

1-Р ХҮСНЭГТ

Хэмнэлтийн горимын төрөл	Хэмнэсэн эрчим хүч сая кВт.ц	Нүүрсхүч лийн хий мян.тн	Цэвэр ус мян.тн

Тэжээлээс салгасан үед	2782.1	1952.4	26031.3
Хүлээлгийн горимын үед	352.9	247.6	3302

Цахилгаан эрчим хүчний хэмнэлт нь нүүрсхүчлийн хийн ялгарлыг багасгах, цэвэр усыг хэмнэх боломжтой бөгөөд дэлхийн дулаарлыг багасгах, агаарын чанарыг сайжруулах, эко системийг хамгаалахад чухал нөлөөтэй юм.

ДҮГНЭЛТ

Цахилгаан эрчим хүчийг зохистой хэрэглэх хүлээлгийн горим, тэжээлээс салгах болон оргил цагийн ачаалал шилжүүлэх аргуудыг судалсан. Эрчим хүчний зохистой хэрэглээний аргуудыг ашиглан орон сууцны өрхийн цахилгаан эрчим хүчний хэмнэлтийг тооцож мөнгөн дүнгээр илэрхийлсэн. Эрчим хүч хэмнэх аргуудаас тэжээлээс салгах арга нь хамгийн үр дүнтэй болох нь тооцооны үр дүнгээр тодорхойлогдсон.

Олон улсын Эрчим хүчний агентлагийн (IEA) мэдээлснээр дэлхийн эрчим хүчний хэрэглээг 20 хувиар хэмнэхэд жил бүр 5 гигатонн хүлэмжийн хийн ялгаралтаас зайлсхийх боломжтой гэж тооцоолсон байна. Монгол Улсад цахилгаан эрчим хүчний 388568 орон сууцны хэрэглэгч байдаг. Эдгээр хэрэглэгчид цахилгаан хэрэгслүүдийг ашиглаагүй үед тэжээлээс салгах тохиолдолд 2782.1 сая.кВт.ц эрчим хүч хэмнэх боломжтойг тодорхойлсон. Энэхүү хэмнэлт нь 1952.4 мянган тонн нүүрсхүчлийн хий, 26031.3 мянган тонн цэвэр усны хэрэглээг бууруулна. Хүлээлгийн горимын үед 352.9 сая.кВт.ц эрчим хүч хэмнэх бөгөөд 247.6 мянган тонн нүүрсхүчлийн хий, 3302 мянган тонн цэвэр усны хэрэглээг бууруулах боломжтой байна. Энэ нь дэлхийн уур амьсгалын өөрчлөлтийн эсрэг чухал алхам болно.

2023 онд цахилгаан эрчим хүчний нийт хэрэглээний 22.3 хувь буюу 2447.6 сая.кВт.ц эрчим хүч импортоор авсан. Орон сууцны хэрэглэгчдэд эрчим хүчний зохистой хэрэглээг төлөвшүүлснээр жилд 2782.1 сая.кВт.ц хэмнэх боломжтой. Энэ нь нийт цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээний 25.3 хувийг эзэлж бөгөөд импортоор худалдан авсан цахилгаан эрчим хүчний хэмжээтэй тэнцэхүйц хэмнэлтийг бий болгох боломжтой байна. Эрчим хүчний чадлын дутагдалтай байгаа өнөө үед импортоор худалдан авах цахилгаан эрчим хүчний хэмжээг болон гадагш чиглэх мөнгөн урсгалыг бууруулах боломжтой юм.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] Б. Д.Батчимэг, “Цахилгаан эрчим хүчний эрэлт талын менежент,” *Эрчим хүч engineering, №*239, pp. 48-52, 2024.

[2] Э. Стратегия, “Потребление энергии в режиме ожидания, москва, июль-август 2022.

[3] Д.Содномдорж, Цахилгаан эрчим хүчний хэмнэлт, хэрэгжүүлэх арга зам, Улаанбаатар: Соёмбо принтинг, 2019.

[4] Richenel R. Bulbaai · Johannes I. M. Halman, "Standby energy consumption and saving potentials in the residential sector in tropical areas: the Caribbean island Curaçao as a case study", 2023, pp. 1-18

[5] Calculator Academy Team, “Phantom Load Calculator,” 7 9 2023. [Холбогдсон]. Available: https://calculator.academy/phantom-load-calculator/.

[6] Эрчим хүчний зохицуулах хороо, Эрчим хүчний статистик үзүүлэлтүүд, Улаанбаатар, 2023.

[7] А. Циткин, Электроприборы в режиме ожидания. Хорошо ли это?, москва, 2023.

ЦАХИЛГААН ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ ҮНИЙН ТААМАГЛАЛ

Б.Одонгуа[1] Б.Батзаяа

[1] Монгол Улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Цахилгааны инженерийн салбар

Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: Batzaya.b@must.edu.mn

Хураангуй: **Энэхүү өгүүлэлд үнэ бүрдүүлэлтийн ерөнхий онол болон цахилгаан эрчим хүчний үнэ бүрдүүлэлтийн өнөөгийн байдлыг харуулсан бөгөөд уламжлалт эх үүсгүүрүүдийн зардлын эзлэх хувь, нэг худалдан авагчтай загварын үнэ, сэргээгдэх эх үүсгүүрүүдийн цахилгаан эрчим хүчний үнийг харьцуулан харуулсан. Эрчим хүчний салбарт хувийн хөрөнгө оруулалтыг татах үүднээс сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсгүүр болон Бөөрөлжүүтийн цахилгаан станцын цахилгаан эрчим хүчний үнийг гадаад валютаар тогтоосон нь эх үүсгүүрүүдийн дунд өрсөлдөөн үүсгэх боломжгүй бөгөөд үнийн зөрүү харьцангуй их болохыг тодорхойлов. Цахилгаан эрчим хүчний үнэ эдийн засгийн бүхий л салбарт нөлөөлдөг тул түүний өөрчлөлт тодорхой болсноор шинэ эх үүсгүүр барих, эдийн засгийн бусад салбарын байгууллагууд үйл ажиллагаагаа төлөвлөх, үр ашигтай ажиллахад нөлөөлөх хүчин зүйлсийн нэг болно. Энэхүү өгүүлэлд валютын ханш болон эх үүсгүүрүүдийн цахилгаан эрчим хүчний дундаж үнийн 2013-2024 онуудын мэдээлэлд тулгуурлан 5 жилийн таамаглалыг дэвшүүлсэн.**

Түлхүүр үг: Нэг худалдан авагч, эх үүсгүүр, чөлөөт үйлдвэрлэгч

I. УДИРТГАЛ

Цахилгаан эрчим хүчний үнийн урт хугацааны таамаглал нь улс орон, бүс нутгийн эдийн засгийг хөгжүүлэх стратеги, хөтөлбөрийн бүрэлдэхүүн хэсэг юм. Энэ нь эрчим хүчний салбарын байгууллагуудын өрсөлдөх чадвар, түлшний шинэ ордууд, хөрөнгө оруулалтын шийдвэр гаргахад чухал нөлөө үзүүлнэ.

Эдийн засгийн өсөлт, эрчим хүчний хэрэглээний хурдад эрчим хүчний зардлын үзүүлэх нөлөө нэмэгдэж байгааг харгалзан үзэх нь чухал юм.

Улс орон, бүс нутгийн эдийн засаг, эрчим хүчний харилцан уялдаатай хөгжлийг оновчтой болгохын тулд үнийн механизмыг харгалзан үздэг.

Үнийн таамаглалыг эдийн засаг, эрчим хүчний хэрэглээ, анхдагч эх үүсвэр болон тус салбарын хөгжлийн урьдчилсан судалгаатай уялдуулах нь өнөөгийн бодит байдалд илүү тохиромжтой арга юм.

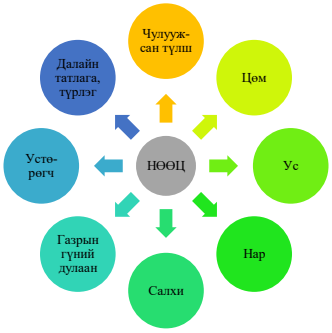
Төвлөрсөн зах зээл дээр системийн оператор өөрийн дураар үнэ тогтоодоггүй бөгөөд тогтоосон дүрмийн дагуу, дуудлага худалдаа явуулах, системийн горимын оновчлоор тогтоодог.

Монгол Улсын эрчим хүчний систем 2001 оноос нэг худалдан авагчийн загварт шилжсэн бөгөөд ДҮТ ТӨХХК хариуцан ажиллаж байна.

II. ЦАХИЛГААН ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ ҮЙЛДВЭРЛЭЛИЙН ОНЦЛОГ

Цахилгаан эрчим хүчний салбар нь цахилгаан эрчим хүчийг үйлдвэрлэх, дамжуулах, түгээх, ашиглах үйл явцыг багтаадаг. Эрчим хүчний салбарын үйлдвэрлэлийн хэмжээнээс хамааран эдийн засгийн бусад салбар төрөл бүрийн бүтээгдэхүүн үйлдвэрлэж үйлчилгээ үзүүлэх боломж бүрдэнэ [1,2]. Иймээс цахилгаан эрчим хүчний салбар нь үндэсний эдийн засгийн стратегийн элемент юм.

Цахилгаан эрчим хүчний салбар нь олон төрлийн байгалийн энергийг цахилгаан эрчим хүч болгон хувиргах замаар цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэх дараах төрлүүд байна. Үүнд:



1-р зураг. Цахилгаан эрчим хүчний анхдагч эх үүсвэр

III. ҮНЭ БҮРДҮҮЛЭЛТ

Аливаа бүтээгдэхүүн, үйлчилгээний үнийг эдийн засгийн үйл ажиллагааны хэлбэрээс хамааруулан зах зээлд тулгуурлан эсвэл зохицуулалттай байдлаар тогтоодог. Зах зээлд тулгуурлан үнэ тогтох нь эрэлт, нийлүүлэлтийн хэмжээнээс хамаардаг. Энэхүү зах зээлийн үнэ нь шударга, эдийн засгийн бодит байдлыг илэрхийлдэг. Зохицуулалттай үнэ нь тухайн үеийн эдийн засгийн төлөвлөгөөний дагуу үнийн түвшнийг төр тогтоодог.

Үнэ тогтоох нь эдийн засгийн хамгийн чухал элементүүдийн нэг юм. Үнийн түвшин нь зарцуулсан зардал, худалдагчийн бараа, үйлчилгээг борлуулах чадвараар тодорхойлогдоно. Үйлдвэрлэгч зардлаа нөхөхийн зэрэгцээ нэмүү өртөг олж авахын төлөө эрмэлздэг бол худалдан авагч хэрэгцээгээ хангахуйц үнэ, чанарын харьцааг олж авахын тулд ашигтай байх сонирхолтой байдаг.

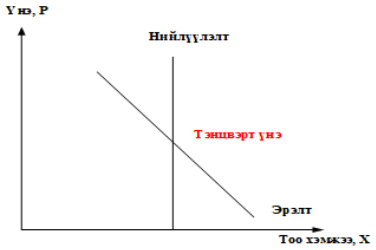
Олон улсад шинэ баригдах эх үүсгүүрүүдийн үнийг эрчим хүчний тэгшитгэх зардлаар тодорхойлж зах зээлийн тооцоонд ашигладаг [3]. Олон улсын эрчим хүчний агентлагийн тайланд дулааны цахилгаан станцын өөрийн өртөг 6.8-16.8 цент/кВт.ц харин сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсгүүрүүдийн өөрийн өртөг 2.7-9.2 цент/кВт.ц байна [4].

Үйлдвэрлэгчийн амжилт нь үнийн стратеги, тактикаас шууд хамаардаг. Үнэд худалдагч,

худалдан авагчийн сонирхлоос гадна олон хүчин зүйл нөлөөлдөг [5]. Үүнд:

- Улс төр
- Нийгмийн өөрчлөлт
- Хүн амын сэтгэл зүйн хүлээн авалт.

Нийлүүлэлт, эрэлт хоёрын шугамын огтлолцол дээр тэнцвэрт үнэ тогтдог. Тэнцвэрт үнэ гэдэг бол төлөвлөсөн нийлүүлэлт болон төлөвлөсөн эрэлт нь хоорондоо тэнцүү байх үеийн үнэ юм. Үүнийг 2-р зурагт харуулав.



2-р зураг. Тэнцвэрт үнэ

Үйлдвэрлэлийн хүчин чадал хүрэлцэхгүй болох үед өндөр үнэ, үйлдвэрлэгчид эдийн засгийн ашиг олж, зах зээлд шинэ компаниуд татан оролцуулснаар үнэ, ашиг буурч, эцэст нь эрэлт, нийлүүлэлтийн хоорондын тэнцвэр сэргэнэ.

Харин үйлдвэрийн байгууллагууд өөрсдөө бүтээгдэхүүн борлуулах үнээ тогтоодог бөгөөд үнэ нь үйлдвэрийн зардлыг нөхөж, ашиг олох үнэ байх ёстой.

3-р зураг. Дундаж зардал ба нэмэлт ашиг

Үйлдвэрлэгч хүчин чадал ашиглалтын ердийн түвшин **X** хэмжээнд ажиллах үед **P** буюу дундаж зардал дээр ашиг шингээсэн үнэ бүрдэнэ.

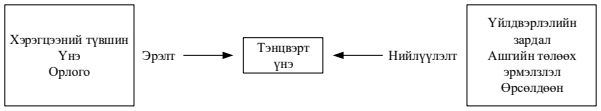
IV. ЦАХИЛГААН ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ ҮНЭ БҮРДҮҮЛЭЛТ

Цахилгаан эрчим хүчний үнийг тогтоохдоо тарифын системийг ашиглах бөгөөд зохицуулалттай үнийн тогтолцоонд дараах зүйлс орно [6]. Үүнд:

- Тариф түүний зах зээлийн дээд хэмжээ. Энд нийлүүлсэн эрчим хүчний үнэ, нэмэлт төлбөр
- Төрийн зохицуулалттай тариф. Жижиглэнгийн арилжаанд зориулсан хүн амд нийлүүлсэн цахилгаан эрчим хүчний тариф.
- Бөөний болон жижиглэнгийн зах зээлийн үнэ.

Нийлүүлэлтийн хэмжээнээс хамааран цахилгаан эрчим хүчний тарифыг хуваадаг бөгөөд энэ нь үнэ бүрдүүлэлтэд нөлөөлдөг. Бөөний зах зээл нь өрсөлдөөнийг хязгаарлах, өдөөх зорилгоор цахилгаан эрчим хүчний худалдах, худалдан авах гэрээний үнийг тогтоох болон үнийн төрийн зохицуулалтын олон аргыг ашигладаг [7].

Үнийн оновчтой түвшин нь үйлдвэрлэгчийн ашигт ажиллагааг хангах, худалдан авагчдын сонирхлыг хадгалах, байгууллагыг зах зээлд удаан хугацаагаар байлгахад өрсөлдөх давуу талыг өгөх ёстой үзүүлэлт юм.



4-р зураг. Тэнцвэрт үнэ

Монгол Улсад цахилгаан, дулааны эрчим хүчний үнийг зохицуулалттай тарифаар арилжаалдаг. Жижиглэнгийн зах зээл дээр цахилгаан эрчим хүчний чадлын тариф болон энергийн тарифыг тогтоодог.

Хэрэглэгчдэд борлуулах тарифыг хэрэглэгчийн сегмент, хэрэглээний түвшин зэргээс хамааруулан ялгавартай байдлаар Эрчим хүчний зохицуулах хорооноос баталдаг. Тарифыг батлахад Борлуулалтын орлогын шаардагдах хэмжээ буюу БОШХ-д үндэслэнэ [8].

Борлуулалтын орлогын шаардагдах хэмжээ нь тусгай зөвшөөрлийн үйл ажиллагаанд шаардагдах зардал, оруулсан хөрөнгийн өгөөжийг тооцсон ашгийн зохих түвшин бүхий Эрчим хүчний зохицуулах хорооноос хянаж тооцсон орлогын дүнг хэлнэ.

$$БОШХ = ҮАЗ + ХТ + ХОӨ$$

Энд:

ҮАЗ – үйл ажиллагааны зардал

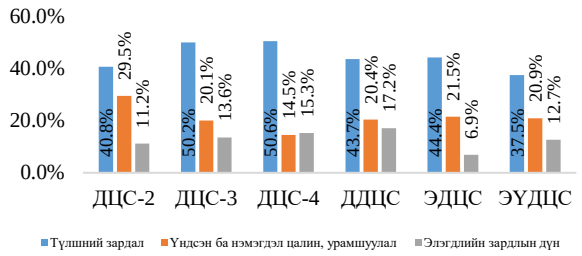
ХТ – хөндлөн татаас

ХОӨ – хөрөнгө оруулалтын өгөөж

Эрчим хүчний салбарт хувийн хөрөнгө оруулалтыг татах үүднээс сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсгүүрүүд болон шинээр ашиглалтад орсон Бөөрөлжүүтийн цахилгаан станцын цахилгаан эрчим хүчний арилжааны үнийг центээр баталсан. Бусад уламжлалт эх үүсгүүрийн үнийг зардалд тулгуурлан Эрчим хүчний зохицуулах хорооноос баталдаг.

V. УЛАМЖЛАЛТ ЭХ ҮҮСГҮҮРҮҮДИЙН ЗАРДАЛ

Төвийн бүсийн зургаан дулааны цахилгаан станцыг сонгон авч сүүлийн дөрвөн жилийн зардал шинжилгээ хийв. Зардалд хамгийн өндөр хувийн жин эзэлж байгаа түлш, цалин болон элэгдлийн зардлуудыг эх үүсгүүр бүрээр харьцуулан 3-р зурагт харуулав.



3-р зураг. Зардлын хувийн жин

Уламжлалт эх үүсгүүрүүдийн зардлын хувь хэмжээ нь суурилагдсан хүчин чадлаас хамааралд харилцан адилгүй байна. Манай улсад ашиглагдаж байгаа уламжлалт эх үүсгүүрүүдийн ашиглалтын хугацаа өндөр байгаа нь эрчим хүчний өөрийн өртөг нэмэгдэх шалтгаан болдог. Эдгээр уламжлалт эх үүсгүүрүүдийн Нэг худалдан авагчтай загварын үнэ 87-231 төгрөг/кВт. цагийн хооронд буюу дунджаар 163 төгрөг/кВт. цаг байна.

Манай улс дэлхийн эрчим хүчний хөгжлийн чиг хандлагын дагуу сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсгүүрийн ашиглалт болон хувийн хөрөнгө оруулалтыг нэмэгдүүлэх үүднээс Сэргээгдэх эрчим хүчний тухай хуулиар худалдах, худалдан авах гэрээг валютаар тогтоосон байдаг.

Сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсгүүрийн Нэг худалдан авагчтай загварын үнэ 321-582 төгрөг/кВт.цаг буюу дунджаар 453 төгрөг/кВт.цаг байна. Сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсгүүр нь хөрөнгө оруулалтын зардал их хэдий ч ашиглалтын зардал бага байдаг онцлогтой юм.

VI. ЭХ ҮҮСГҮҮРҮҮДИЙН ҮНИЙН ТААМАГЛАЛ

Цахилгаан эрчим хүчний үнэ урт хугацаанд тодорхой байх нь тус хэрэглэгч, үйлдвэрлэгч, нүүрсний уурхайд үйл ажиллагаагаа төлөвлөх боломж илүү нэмэгдэнэ.

Өнөөдрийн байдлаар уламжлалт эх үүсгүүрүүдийн үнийг зардалд тулгуурлан тогтоодог бол сэргээгдэх эх үүсгүүрүүдийн үнийг хуулиар тогтоодог хэдий ч валютын ханшаас хамааран өөрчлөгдөж байдаг.

Нэг худалдан авагчтай загварын цахилгаан эрчим хүч нийлүүлэгчдийн үнэ, валютын ханшийг дараах хүснэгтэд харуулав.

НИЙЛҮҮЛЭГЧДИЙН ДУНДАЖ ҮНЭ, ВАЛЮТЫН ХАНШ

1-Р ХҮСНЭГТ.

Он	Валютын ханш	Уламжлалт эх үүсгүүрүүдийн дундаж үнэ, ₮/кВт.ц
2013	1525.7	89.34
2014	1818.3	101.12
2015	1970.7	109.60
2016	2147.7	125.50
2017	2440.6	130.86
2018	2472.7	130.58
2019	2663.9	142.19
2020	2813.5	144.74
2021	2849.3	134.33
2022	3144.8	123.47
2023	3465.8	163.40
2024	3390.2	188.65

1-р хүснэгтийн өгөгдлийг ашиглан уламжлалт эх үүсгүүрүүдийн нэг худалдан авагчтай загварын үнэ, валютын ханшийн таамгийг EXCEL программын TREND функцийг ашиглан таван жилээр тооцож үр дүнг хүснэгтээр харуулав.

НИЙЛҮҮЛЭГЧДИЙН ДУНДАЖ ҮНЭ, ВАЛЮТЫН ХАНШИЙН ТААМАГЛАЛ

2-Р ХҮСНЭГТ.

Он	Валютын ханш	СЭХ-ний дундаж үнэ, ₮/кВт.ц	Уламжлалт эх үүсгүүрүүдийн дундаж үнэ, ₮/кВт.ц
2025	3471.4	485.3	187.2
2026	3609.9	504.7	197.8
2027	3748.5	524.0	208.4
2028	3887.0	543.4	218.9
2029	4025.5	562.8	229.5

Одоо ашиглагдаж байгаа уламжлалт эх үүсгүүрүүдийн насжилт өндөр учир элэгдлийн зардал харьцангуй бага байгаа нь тэдгээрийн өөрийн өртөг дунджаар 5.5 төгрөг/кВт.цаг байхад нөлөөлж байна. Мөн эрчим хүчний үнийг тооцохдоо байгаль орчинд үзүүлж байгаа сөрөг нөлөөллийг тооцохгүй байна.

Манай орны хувьд эрчим хүчний системд өрсөлдөөнийг дэмжихгүй, шинэ эх үүсгүүр баригдахгүй хэвээр байх тохиолдолд цахилгаан эрчим хүчний үнэ 2-р хүснэгтэд харуулснаар өсөх хандлагатай байна.

ДҮГНЭЛТ

Энэхүү өгүүллийн хүрээнд дараах асуудлуудыг шийдвэрлэсэн. Үүнд:

- ✓ Уламжлалт эх үүсгүүрүүд нийт зардлын 37.5-50.6 хувийг түлшний зардал эзэлж байна.
- ✓ Нэг худалдан авагчийн загварын онцлог нь үнийн ялгаатай байдлаар өрсөлдөөн бий болгох хэдий ч манай орны нөхцөлд өрсөлдөөн хязгаарлагдмал, үнэ төрийн зохицуулалттай байна.
- ✓ Эрчим хүчний салбарт хувийн хөрөнгө оруулалтыг татах, Сэргээгдэх эрчим хүчний оролцоог нэмэгдүүлэхийн тулд сэргээгдэх эрчим хүчний үйлдвэрлэсэн цахилгаан эрчим хүчний үнийг гадаад валютаар арилжаалахыг хуулиар зохицуулсан нь валютын ханшийн өсөлтөөс үүдэн өндөр үнээр арилжаалах болсон.
- ✓ Энэ судалгааны ажлаар уламжлалт эх үүсгүүр, сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсвэрүүдийн нэг худалдан авагчид нийлүүлэх үнэ болон валютын ханшийн өөрчлөлтөд тулгуурлан цахилгаан эрчим хүчний үнийг 2029 он хүртэл төлөвлөсөн.
- ✓ Бөөрөлжүүтийн цахилгаан станцын цахилгаан эрчим хүч арилжаалах гэрээг гадаад валютаар баталсан бөгөөд шинээр ашиглалтад орох эх үүсгүүрүүд үүнтэй адил зарчмаар системд нэвтрэх нь сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсвэрүүдтэй үнээрээ өрсөлдөх боломж бүрдэхийн зэрэгцээ хэрэглэгчдийг найдвартай

цахилгаан эрчим хүчээр тасралтгүй хангах системийн зорилгод нийцнэ.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] Simona Bigerna Energy price shocks, exchange rates and inflation nexus, energy Economics, volume 128, 2023 https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.107156

[2] Кононов Ю.Д., Кононов Д.Ю., Долгосрочное прогнозирование динамики цен на российских энергетических рынках, Экономика и бизнес, 2005, 53-60п.

[3] Paolo Gabrielli, Moritz Wuthrich, Data-driven modeling for long-term electricity price forecasting, Energy, Volume 244, Part B, 1 April 2022, https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123107

[4] ОУ-ын эрчим хүчний агентлагын тайлан https://www.iea.org/reports/southeast-asia-energy-outlook-2024

[5] Lazard's Levelized Cost of Energy Analysis—Version 17.0, 2024

[6] Линдер Н.В., Тарифная политика и перекрестное субсидирование в электро- и теплоэнергетике, Стратегии Бизнеса, №1 (33), 2017, 37-47п.

[7] Колодей Л.Г., Реформирование электроэнергетики как шаг к экономическому росту, Экономика и бизнес, 2006, 144-155п.

[8] Эрчим хүчний үнэ тогтоох аргачлал, ЭХЗХ. https://admin.erc.gov.mn/uploads/files/togtool/togtool-291.pdf

ХҮЧДЭЛ ТОХИРУУЛГЫН УЛАМЖЛАЛТ ТӨХӨӨРӨМЖИЙН СИМУЛЯЦИ, СУДАЛГАА

Б.Даваахүү[1], Б.Энэрэлт[1], Б.Загдхорол[1]

Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Цахилгааны техникийн салбар
Холбогдох зохиогчийн и-мэйл хаяг: B222130703@must.edu.mn, zagdkhorol@must.edu.mn

***Хураангуй*—Эрчим хүчний системийн хүчдэлийн хяналт, тогтвортой байдлыг хангах нь цахилгаан эрчим хүчний чанарыг сайжруулах, хэрэглэгчдийн тасралтгүй ажиллагааг хангах чухал хүчин зүйл юм. Энэхүү судалгаанд хүчдэлийн тохируулгын төхөөрөмжүүдийн трансформаторын ачаалал дор хүчдэл тохируулгын төхөөрөмж буюу РПН, шунтлагч реактор, статик вар компенсатор систем (SVS) эрчим хүчний системийн тогтворжилтод үзүүлэх нөлөөг DigSILENT PowerFactory 15 программ ашиглан RMS симуляцийн аргаар судлав. Судалгаанд IEEE 9-bus системийг загварчилж, ачааллын өөрчлөлтийн үед хүчдэлийн хэлбэлзэл, тохируулгын төхөөрөмжүүдийн үйлчлэлийн үр нөлөөг шинжилсэн. Энэхүү судалгааны үр дүн нь эрчим хүчний системийн хүчдэлийн хяналтыг оновчтой гүйцэтгэхэд тохиромжтой төхөөрөмжийн сонголтыг тодорхойлох үндэслэл болох юм.**

***Түлхүүр үг*—PowerFactory, симуляци, шунтлагч реактор, статик вар систем**

I. УДИРТГАЛ

Эрчим хүчний системийн найдвартай, тогтвортой ажиллагааг хангахын тулд хүчдэлийн түвшнийг зохих хязгаарт барих шаардлагатай байдаг. Өнөөдрийн байдлаар цахилгаан эрчим хүчний системийн өсөлт, ачааллын хэлбэлзэл, сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсвэрүүдийн нэмэгдэл зэрэг нь хүчдэлийн хяналт, тохируулгыг нарийн, өндөр үр ашигтай болгох шаардлагыг бий болгож байна. Үүнтэй холбоотойгоор системийн тогтворжилтыг бодит хугацааны эгшинд хянах, мэдээлэх WAMS систем манай улсад нэвтэрсэн ба 2019 оноос хойш 41 цэгт PMU төхөөрөмжийг суурилуулсан байна [1].

Хүчдэлийн тохируулга нь цахилгаан дамжуулах, түгээх сүлжээний найдвартай ажиллагааг хангахаас гадна хэрэглэгчдийн цахилгаан хангамжийн чанарт шууд нөлөөлдөг чухал хүчин зүйл бөгөөд Монгол Улсын нэгдсэн эрчим хүчний системийн хувьд нэгдсэн сүлжээний хяналтын цэгүүдэд баригдах хүчдэлийн хэмжээг жилд 2-аас цөөнгүй удаа өвлийн их ачааллын болон зуны бага ачааллын үед тооцоолон боловсруулж, түүний дагуу барих ёстой бөгөөд хүчдэлийн доод ба дээд түвшнийг боловсруулж ажилдаг [2].

2021 оны Диспетчерийн үндэсний төв ТӨХХК үйл ажиллагааны тайлангаас 2019-2021 онуудад Монгол улсын эрчим хүчний системийн ажилласан автоматикийн ангиллыг харвал дахин залгах автоматик хамгийн олон удаа ажилласан бөгөөд үүний дараа, станцын хүчдэлээр тусгаарлах автоматик болон станцын давтамжаар тусгаарлах автоматик тус тус ажилласан байгааг харж болно [3]. Эндээс харахад хүчдэлийн тохируулга нь эрчим хүчний системийн тогтворжилтын хувьд чухал асуудал гэдэг нь харагдаж байна.

Сүүлийн үед хүчдэл тохируулахдаа автомат удирдлагатай реактор, статик вар компенсатор (SVC), статик компенсатор (STATCOM), автомат удирдлагатай хөндлөн болон дагуу компенсацлах тоноглолуудыг ашигладаг болсон. Өмнө хийгдсэн судалгаагаар SVC ашиглах нь реактор ашиглахтай харьцуулахад эрчим хүчний алдагдлыг 35%-иар бууруулсан болох нь тогтоогдсон.[4]

Олон улсын хувьд өндөр хүчдэлийн сүлжээг бүсчлэн хуваах, бүс бүрийн реактив чадлын нөөцийг автоматаар зохицуулах замаар хүчдэлийг орон нутагт хянахад чиглэсэн шаталсан (hierarchical) бүтэцтэй системийг Европт (ялангуяа Итали, Францад) 1980 оноос судалж эхэлсэн.

Энэ систем нь тухайн хэсэгт суурилсан төхөөрөмжүүдийн шууд хяналт болох анхдагч түвшин, системийн тодорхой хэсэг буюу дамжуулах сүлжээний хэсэг дэх хүчдэлийн хяналт болох хоёрдогч түвшин болон бүтэн системийн хувьд хамгийн оновчтой чадлын урсгалыг оновчлох үүрэгтэй гуравдагч түвшний хяналт гэсэн 3 хэсгээс бүрддэг [5].

Энэ судалгааны ажлаар тоног төхөөрөмжөөр хүчдэл тохируулах буюу анхдагч түвшний хувьд авч үзэв. Тэр дундаа трансформаторын ачаалал дор хүчдэл тохируулга (РПН) болон шунтлагч реакторын ажиллагааны эрчим хүчний системд үзүүлж буй нөлөөг судлахаас гадна автомат удирдлагатай төхөөрөмж болох статик вар систем (SVS)-ийн системд үзүүлэх нөлөөг мөн RMS simulation ашиглан судална.

II. V-Q ТОХИРУУЛГЫН ТӨХӨӨРӨМЖҮҮД

Эрчим хүчний системийн хүчдэлийг зохицуулах практик арга нь ихэвчлэн гарган авч, хэрэглэж буй реактив чадлыг болон түүний урсгалыг хянахад тулгуурладаг. Шин дээрх хүчдэлийн өөрчлөлтийг реактив чадлын өөрчлөлттэй дараах байдлаар илэрхийлж болно:

$$\Delta U \approx \frac{X\Delta Q}{U} \quad (1)$$

Үүнд: ΔU-хүчдэлийн өөрчлөлт; X-дамжуулах шугамын реактив эсэргүүцэл; U-тухайн үеийн хүчдэл; ΔQ-реактив чадлын өөрчлөлт

Эрчим хүчний систем дэх гол төхөөрөмж нь синхрон генератор бөгөөд энэ нь реактив чадлыг тодорхой хэмжээгээр үйлдвэрлэх буюу шингээх чадвартай. Синхрон генераторын өдөөлтийн автомат тохируулга АРВ нь генераторын өдөөлтийг удирдаж, статорт үүсэх хүчдэлийг тогтоосон утгад барих үүрэгтэй. Гэвч өндөр хүчдэлийн ачааллын шугамын хүчдэлийг зохицуулахад хангалтгүй байдаг. Үүнээс үүдэн компенсацийн төхөөрөмжүүд шаардлагатай болдог ба хүчдэлийн тохируулгад оролцдог төхөөрөмжүүдийг доорх ангилалд хуваах болно:

1-р зураг. Хүчдэл тохируулгад оролцдог төхөөрөмжүүд

Шунтлагч реактор, шунтлагч конденсатор болон цуваа конденсатор нь идэвхгүй компенсаторийн төхөөрөмжүүд бөгөөд байнгын залгаатай эсвэл залгах/салгах боломжтой байна. Байнгын залгаатай үед эдгээр төхөөрөмжүүд нь системийн нэг хэсэг болж хянагдах ёстой сүлжээнд хамаарна. Залгах/салгах боломжтой үед тэдгээр нь сүлжээний хүчдэлийн өөрчлөлтийг барих, тогтвортой байлгах тохируулгын нөөцийн нэг хэсэг болдог. Шунтлагч реактор, шунтлагч конденсаторын төхөөрөмжүүд нь залгалт, салгалтын хязгаарлалтаас шалтгаалан хүчдэлийн бодит цагийн үргэлжилсэн тохируулгад хувь нэмэр оруулж чаддаггүй.

Энэ сул талыг нөхөж эрчим хүчний системийн шаардлагатай реактив чадлыг тасралтгүй, давтамжтайгаар нийлүүлэх болон шингээх чадвартай төхөөрөмж нь Вар генераторууд юм. Вар генераторууд нь эргэлдэгч цахилгаан машин (синхрон генератор) болон статик цахилгаан электроникийн хувиргагч төхөөрөмжүүд болох статик Вар компенсатор (SVC), Статик компенсатор (STATCOM) болон Нэгдсэн чадлын урсгал хянагч (UPFC) гэж хуваагдана.

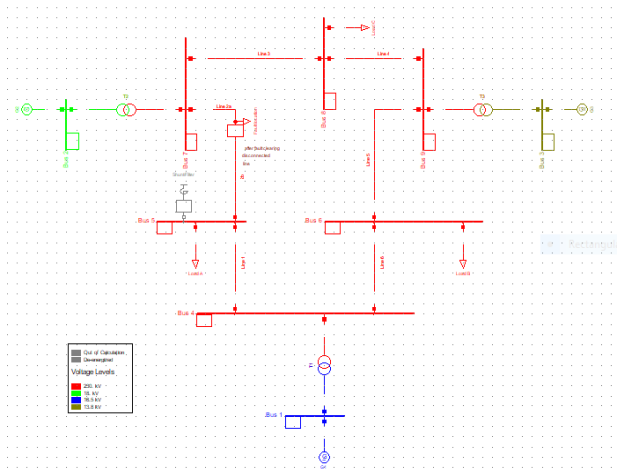
UPFC нь цахилгаан дамжуулах системд шугаман дээрх бодит болон реактив чадлын урсгалыг удирдахад хэрэглэгддэг дэвшилтэт цахилгаан электроникийн төхөөрөмж бөгөөд хүчдэлийн хэмжээ болон фазын өнцгийг нэгэн зэрэг тохируулах замаар тодорхой шугамын цахилгаан дамжуулалтыг нарийн удирдах боломжийг олгодог.

III. УЛАМЖЛАЛТ ТӨХӨӨРӨМЖҮҮДИЙН ХҮЧДЭЛИЙН ТОХИРУУЛГЫН СИМУЛЯЦИ

Уг судалгааны ажилд DigSILENT PowerFactory программ дээрх цахилгаан системийн шинжилгээ, симуляцид түгээмэл хэрэглэгддэг 9 шин, гурван генератор, трансформатор, ачааллыг агуулсан систем болох “IEEE 9 bus system”-ийг ашиглав. Уг систем нь эрчим хүчний системийн чадлын урсгалын шинжилгээ, богино залгааны шинжилгээ болон хүчдэлийн тогтворжилтыг судлах боломж олгодог.

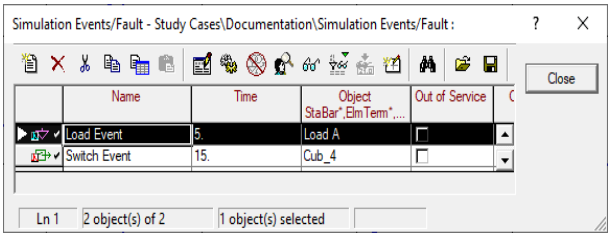
A. Шунтлагч реакторын хүчдэлийн тохируулга дахь оролцоо

Шунтлагч реактор нь бага ачааллын үед хүчдэлийн түвшин өсөхөд механикаар буюу хүний оролцоотойгоор түүнийг залгаж хүчдэлийн утгыг тогтворжуулдаг.

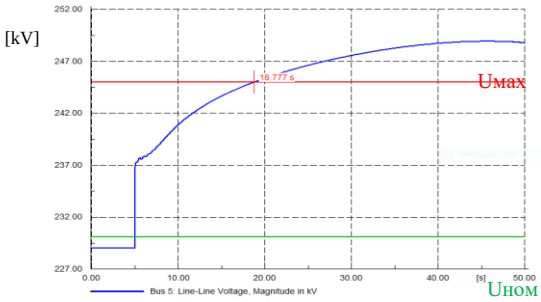


2-р зураг. 9 шинтэй системд шунтлэгч реактор байрлуулсан байдал

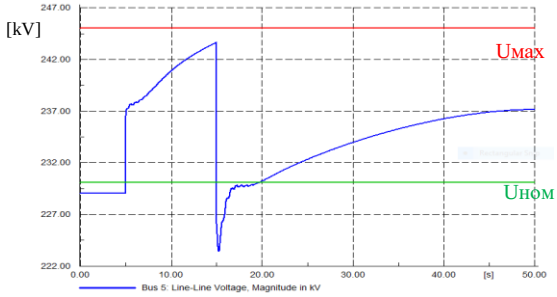
Bus 5 дээрх Load A-ын ачаалал 40% буурч, хүчдэл ихсэх үүсэх үед шунтлагч реактор ашиглан хүчдэлийг бууруулах үйл явцын симуляци хийв. Симуляцийн 5 секундийн агшинд ачаалал 40% буурч, 15 секундийн агшинд шунтлагч реакторыг залгах эвент үүсгэсэн байдлыг 3-р зурагт үзүүлэв.



3-р зураг. Симуляцийн эвент үүсгэсэн байдал



4-р зураг. Шунтлагч реакторгүй үеийн шин дээрх хүчдэлийн өөрчлөлтийн үр дүн

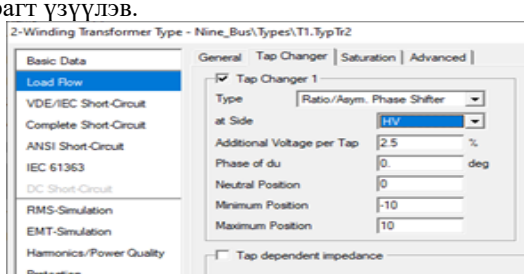


5-р зураг. Шунтлагч реактортай үеийн шин дээрх хүчдэлийн өөрчлөлтийн үр дүн

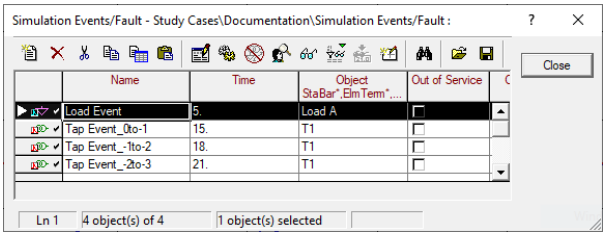
Реактор залгаагүй болон залгасан үеийн хүчдэлийн өөрчлөлтийг 4,5-р зурагт үзүүлэв. Дээрх үр дүнгээс харахад реактор залгаагүй үед 18.777 секундэд хүчдэлийн зөвшөөрөгдөх дээд утгаас давсан байгааг харж болно. Энэ нь ачаалал буурах үед системд реактив чадлын илүүдэл үүсэж 15 секундийн агшинд шунтлагч реактор залгаснаар реактив чадал шингээж, хүчдэлийн өсөлтийг хязгаарлаж байна.

B. Трансформаторын хүчдэл тохируулга

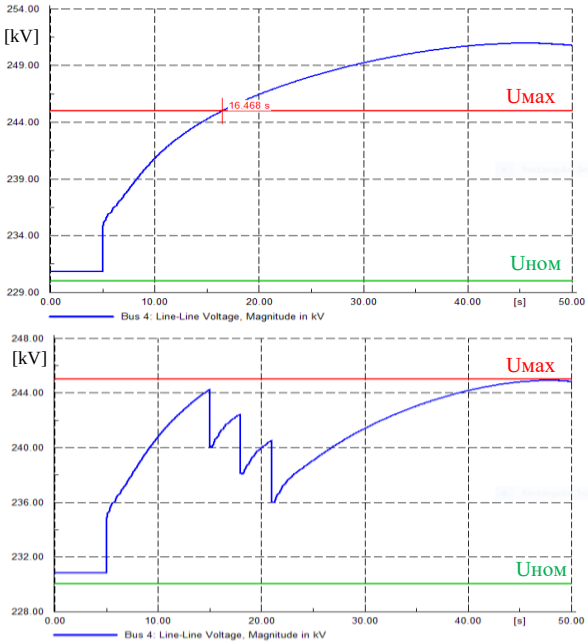
Трансформаторын хүчдэл тохируулга болох ачаалалтай үед трансформацлах коэффициентыг өөрчлөх замаар хүчдэл тохируулахад зориулсан РПН буюу ачаалал дор хүчдэл тохируулгын симуляцийг T1 трансформатор дээр хийв. Bus 4 дээрх Load A-ын ачаалал буурч, хүчдэл ихсэх үүсэх үед T1 трансформаторын РПН-н тавилыг бууруулах замаар хүчдэлийг бууруулах үйл явцын симуляци хийв. Симуляцийн 5 секундийн агшинд ачаалал 40% буурч, 15 секундээс эхлэн 3 секундийн зайтай тавилыг бууруулах эвент үүсгэсэн байдлыг 6-р зурагт үзүүлэв.



6-р зураг. T1 трансформаторт РПН-н тохиргоо шинээр оруулж буй байдал



7-р зураг. T1 трансформаторын РПН-н тохиргооны симуляцийн эвент үүсгэсэн байдал

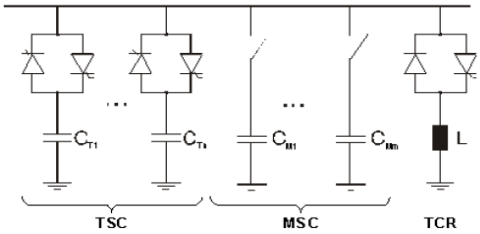


8-р зураг. Ачаалалын бууралтын үед РПН-н нөлөө

7-р зургаас харахад ачаалал буурч T1 трансформаторын өндөр талын шиний хүчдэл 16.468 секундэд зөвшөөрөгдөх дээд утгаас давсан байгаа бөгөөд доорх графикт РПН-н тавилыг 15 секундээс эхлэн өөрчилж өгснөөр шаталсан хэлбэрээр хүчдэл буурч байгаа нь харагдаж байна.

IV. Статик Вар компенсатор (SVC)-н хүчдэл тохируулга

SVC нь шугамын реактив чадлын урсгалыг хянаж, хүчдэлийн хэлбэлзлийг зохицуулах үүрэгтэй статик төрлийн FACTS (Flexible AC Transmission System) төхөөрөмж юм. SVC нь хамгийн багадаа Тристор удирдлагатай реактор (TCR), Конденсаторыг залгах тристор (TSC)-с бүрддэг ба нэмэлтээр гармоник шүүлтүүр (FC), Механикаар залгах конденсатор (MSC) гэсэн төхөөрөмжүүд байдаг.



9-р зураг. Статик Вар компенсатор систем (SVS)

DigSILENT PowerFactory 15 программ дээрх SVS нь TCR, TSC, MSC гэсэн бүрэлдэхүүн хэсгүүдтэй байдаг. Конденсаторуудыг тус тусад нь залгах, салгах боломжтой бөгөөд тиристороор (TSC) эсвэл механик аргаар (MSC) удирдаж болно. SVC нь хүчдэлийг тодорхой утганд барих эсвэл реактив чадлыг тодорхой хязгаарын хооронд хадгалах гэсэн 2 горимоор ажиллах боломжтой.

V. Дүгнэлт

Уг судалгааны ажлаар эрчим хүчний системийн хүчдэлийн тохируулгын төхөөрөмжүүдийн системд үзүүлэх нөлөөг PowerFactory программ ашиглан RMS симуляцийн аргаар судлав. Үр дүнгийн график (зураг 5,8)-аас харахад шунтлагч реактор болон трансформаторын РПН-н тусламжтайгаар хүчдэлийг зөвшөөрөгдөх дээд хязгаараас өмнө бууруулж чадаж байгаач үргэлжилсэн хугацааны явцад хүчдэлийн өөрчлөлтийг тогтворжуулж чадахгүй байгааг симуляцын аргаар тодорхойлов. Цаашдын судалгааны ажилдаа автомат тохируулгатай төхөөрөмжүүд болох статик вар компенсаторын хүчдэл тохируулгын үйл явцын талаар судалж бодит объект дээр суурилагдсан үед эрчим хүчний системийн тогтворжилтод үзүүлэх нөлөөг судлах болно.

Талархал

Эрдэм шинжилгээний судалгааны ажилд тусалж дэмжсэн ШУТИС, ЭХИС, Цахилгаан техникийн салбарын эрдэмтэн багш Б.Загдхорол болон хамтран судлагч Б.Энэрэлт нарт талархал илэрхийлье.

Ном зүй

[1] Э.Золжаргал, Б.Энх-Амар, О.Мөнгөнбаяр, Б.Загдхорол, С.Адарсүрэн “Монгол улсын ЭХС-д ашиглагдаж буй шилжилтийн горимын хяналт, мэдээллийн системийн судалгаа” Улаанбаатар хот, 2024 он.

[2] Эрчим хүчний нэгдсэн сүлжээний дүрэм 2-р бүлэг, 2010 он

[3] Диспетчерийн үндэсний төв ТӨХХК үйл ажиллагааны тайлан, Улаанбаатар хот, 2021 он.

[4] А.Балжинням, Ш.Гантөмөр “110 КВ-ийн цахилгаан шугам сүлжээний хүчдэлийг статик вар компенсаторaар тохируулах судалгаа” УБ 2023 он

[5] S. Corsi, "Voltage Control and Protection in Electrical Power Systems From System Components to Wide-Area Control,”

[6] Д.Содномдорж, “Цахилгаан системийн тогтворжилт,” Улаанбаатар, 2014 он

[7] Ш.Гантөмөр, “Цахилгаан шугам сүлжээ, систем,” Улаанбаатар, 2023 он.

[8] CIGRE, “Power System of France,” [Online].Available:[CIGRE website], 2020.

[9] CIGRE, “National Power System of Italy,” [Online]. Available: [CIGRE website], 2019.

[10] Japan Electric Power Information Center, Inc. (JEPIC), “The Electric Power Industry in Japan 2023,” Tokyo, Japan, 2023.

[11] PowerFactory, DIgSILENT. "Digsilent powerfactory 15 user manual." DIgSILENT GmbH, July-2014.

[12] PowerFactory, DIgSILENT. Technical Reference Documentation " SVS - Static Var System (ElmSvs)”, 2011.

ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ СИСТЕМИЙН ДАВТАМЖИЙН ӨӨРЧЛӨЛТИЙН ХЯНАЛТЫН СИМУЛЯЦИ

Б.Энэрэлт, Б. Даваахүү, Б.Загдхорол

Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Цахилгаан техникийн салбар

Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: bayraaenerelt12345@gmail.com , zagdkhorol@must.edu.mn

Хураангуй: **Давтамж нь эрчим хүчний системийн найдвартай байдал тогтворжилттой салшгүй холбоотой. Энэхүү судалгааны зорилго нь эрчим хүчний системд түгээмэл тохиолддог хэвийн бус горим болох давтамжийн өөрчлөлтийн шалтгаан, үр дагаврыг тодруулж, давтамжийг хянах хяналтууд мөн уг хяналтуудад хамаарагдах тохируулгын аргуудын онолын үндсийг судалж тэдгээрийг хяналт симуляцийн программ хангамж ашиглан эрчим хүчний системд үүсдэг бодит асуудлыг зохиомлоор үүсгэн давтамж хэрхэн өөрчлөгдөж байгаа болон хяналтуудын тусламжтайгаар тогтворжих явцыг симуляцийн аргаар туршиж үр дүнг хэлэлцэн түүнийг дүгнэхэд оршино. Тийм учир уг судалгааны ажлаар аль нэг ачаалал дээр зохиомлоор хэт ачаалал үүсгэн уг ачааллыг тэжээж буй генераторын давтамжийг хянаж хэрхэн буурч байгаа болон давтамжийг тогтворжуулах үйл явцыг нарийвчлан симуляциар туршиж үр дүн гаргана.**

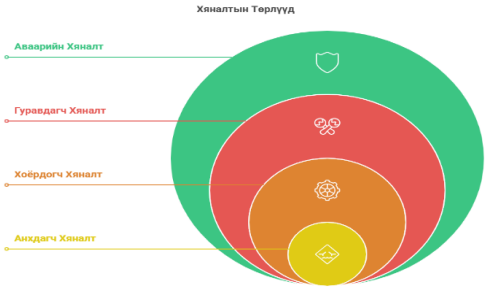
Түлхүүр үг:. Анхдагч хяналт, хоёрдогч хяналт, RoCoF(давтамжийн өөрчлөлтийн хурд), зохицуулагч(governor), генераторыг автоматаар удирдах (AGC), DIgSILENT PowerFactory.

I. УДИРТГАЛ

Орчин үед эрчим хүч гэдэг нь улс орны амин зүрх бөгөөд тусгаар тогтнолын баталгаа болсон билээ. Эрчим хүчийг энгийн иргэд,айл өрхүүд өргөн хүрээнд хэрэглэхээс гадна улс орны томоохон мега төслүүд ч мөн эрчим хүчгүйгээр урагшлахгүй билээ. Эрчим хүчний системийг өнөөгийн нөхцөл байдалд аль болох үр ашигтай ажиллуулах чиг хандлагын улмаас илүү их ачаалалтай ажиллах нөхцөлийг үүсгэж байна. Системд нэмж олон генератор, хөдөлгүүр холбогдох мөн жижиг сэргээгдэх эх үүсвэрүүдийн оролцоо нь эрчим хүчний системийн аюулгүй ажиллагаа найдвартай байдлыг хангах өндөр шаардлагатай болгож байна. Сүүлийн жилүүдэд эрчим хүчний системийн томоохон хэмжээний тасалдлууд нэмэгдэж байгаагийн жишээ нь 2006 оны 9-р сарын Европын тасалдал, 2009 оны 11-р сарын Бразил-Парагвайн тасалдал, 2012 оны 7-р сарын Энэтхэгийн тасалдал, 2013 оны 5-р сарын Тайландын тасалдал саяхан хэдхэн жилийн өмнө Монгол улсад болсон тэг зогсолт зэрэг юм. Эдгээр системийн тасралтууд нь өнөөгийн эрчим хүчний системийн ажиллагаанд тогтворжилтын бүх төрлийн асуудлууд болон хяналт,удирдлагыг илүү чухлаар авч үзэх шаардлагатайг харуулж байна. Эрчим хүчний системийн удирдлагын хариу үйлдлийг сайжруулахын тулд илүү үр дүнтэй, найдвартай удирдлагын стратегиудыг хэрэгжүүлэх нь чухал бөгөөд ингэснээр системийн аюулгүй байдал, үр ашиг, динамик тогтворжилтыг хангах нөхцөл үүснэ. [1]. Эрчим хүчний системд чадлын дутагдал үүсэж үйлдвэрлэж буй эрчим хүч болон хэрэглэж байгаа эрчим хүчний хооронд зөрүү гарсан буюу хэрэглээ нь үйлдвэрлэлээсээ илүү гарч чадлын дутагдал үүссэн үед давтамж буурдаг гэж дурдсан билээ. Энэ үед генераторын голд хэт ачаалал ирснээр эргэлт нь удааширч үүнээс болж үүсгэж байгаа давтамж нь багасдаг. Үүнээс шалтгаалж гарах үр дагавар нь генераторт гэмтэл үүсгэх, хэрэглэгчийн цахилгаан эрчим хүчийг хязгаарлах, цаашлаад систем тэг зогсох хүртэлх эрсдэлийг үүсгэдэг [2]. Давтамжийн буурах хурд буюу давтамжийн өөрчлөлтийн хурд нь инерцээс ихээхэн хамааралтай бөгөөд инерци ихтэй системд давтамж удаан хугацаа өнгөрсөн ч бага хэмжээгээр өөрчлөгдөж байгааг судалгаагаар тогтоосон байна. Инерци ихтэй систем нь уламжлалт эргэлдэгч эх үүсвэр буюу турбин генератор ашиглан дийлэнх эрчим хүчээ үйлдвэрлэдэг системүүд орох бол инерци багатай систем нь сэргээгдэх эрчим хүчний оролцоо их ихэнх хэсгийг нь бүрдүүлдэг системүүд ордог. Хэрэв генератор тасарвал хэдий тэжээлгүй болсон ч гэсэн шууд эргэхээ болихгүй ба тодорхой хугацаанд эргэлдэх болно. Эдгээр эргэлдэгч хэсгүүдэд хуримтлагдсан кинетик энергийг "инерци" гэж нэрлэдэг. Салхин цахилгаан станц нь хэдий эргэлдэх үйлдэл хийн эрчим хүч үйлдвэрлэг ч системд инвертерээр дамжуулан холбогдсон байдаг учир инерцгүй байдаг [3].

II. ДАВТАМЖИЙН ХЯНАЛТ

Бага хэмжээний давтамжийн өөрчлөлт ч гэсэн эрчим хүчний системд сөрөг үр дагаврыг учруулах боломжтой ба давтамж буурсан дариуд хариу үйлдэл үзүүлэх хяналт, удирдлагын систем байх шаардлагатай юм. Эдгээр нь анхдагч, хоёрдогч, гуравдагч хяналтууд юм.

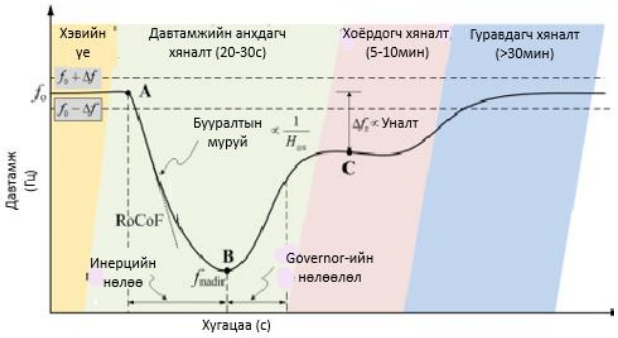


1-р зураг. Давтамжийн хяналтын ангилал, цар хүрээ

1. Анхдагч хяналт (primary control).

Бага хэмжээний давтамжийн өөрчлөлтийг зохицуулах зориулалттай ба давтамж өөрчлөгдсөн тохиолдолд хамгийн түрүүнд хариу үйлдэл үзүүлдэг.

Энэ нь ачаалал ихсэж давтамж хэлбэлзэх үед генераторын хурдыг автоматаар тохируулж тогтворжилтыг хангадаг бөгөөд хэдхэн секундийн хугацаанд явагддаг процесс юм. Ачаалал ихсэн, генераторт нөлөөлж эргэлт нь удаашрах үед анхдагч хяналт хамгийн түрүүнд ажиллаж governer буюу зохицуулагч нь түлшний зарцуулалтыг нэмэгдүүлж, турбин рүү өгөх уурын хэмжээг нэмэгдүүлснээр генераторын хурдад нөлөөлөн, улмаар давтамжийн өөрчлөлтийг зогсоож, тогтворжуулах үүрэгтэй [4].



2-р зураг. Давтамжийн хяналтын ажиллагааны график

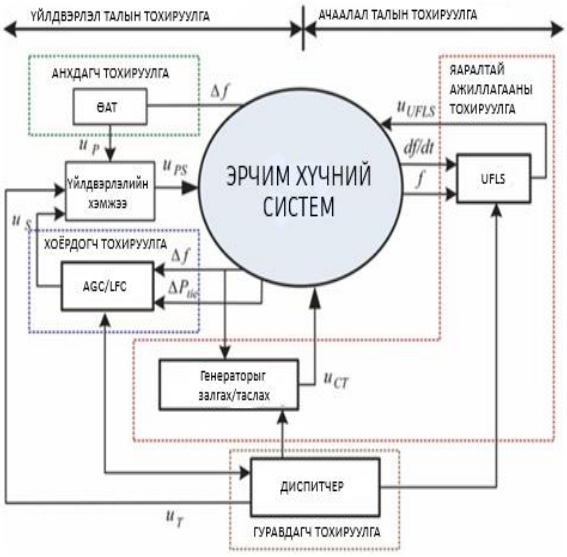
2. Хоёрдогч хяналт (secondary control).

Энэ тохируулга нь анхдагч тохируулга дууссаны дараа явагдах ба хэрэв давтамж ихээр өөрчлөгдвөл хоёрдогч хяналт нь ачааллаас хамааруулан генераторын үйлдвэрлэж буй чадлыг тохируулснаар системийн давтамжийг хурдан хугацаанд сэргээх үүрэгтэй. Үүнийг генераторыг автоматаар удирдах AGC (Automatic Generation Control)-ын үндсэн функц болох ачааллаар давтамжийг зохицуулах LFC(Load Frequency Control)-ийн тусламжтай гүйцэтгэдэг. Хоёрдогч тохируулга нь сэргээгдэх эрчим хүчний хуримтлууртай холбоотой байх боломжтой. Батарей хуримтлуур, усан цахилгаан станцууд гэх мэт эрчим хүчний хуримтлуурын системүүд эсвэл бусад системд холбогдсон генераторууд нь давтамжийн өөрчлөлтөд хурдан хариу үйлдэл үзүүлж, системийн тогтвортой байдлыг хангахад тусалдаг. Харин энэ боломжоор хангахын тулд бүсийн хяналтын алдаа ACE (Area Control Error) гэж нэрлэгдэх хэмжигдэхүүнийг ашигладаг. ACE нь үйлдвэрлэл ба ачааллын бодит эрчим хүчний балансын зөрүүг илэрхийлэх хэмжигдэхүүн юм. ACE-ийн утгыг ашиглан дутагдаж буй чадлыг тодорхойлж ачааллаар давтамжийг зохицуулах (LFC) нь генераторуудын гаралтыг динамикаар тохируулж, системийн тогтвортой ажиллагааг хангаж, номинал давтамж болон эрчим хүчний нийлүүлэлтийг хэвийн хэмжээнд байлгахаар зохицуулалтыг хийдэг [1].

$$ACE = P_{\text{ач}} - P_{\text{ном}} + \beta \cdot \left(f_{\text{бодит}} - f_{\text{ном}}\right) \qquad (1)$$

β – Давтамжийн хяналтын коэффициент (МВт/Гц),

Монгол улсын нэгдсэн сүлжээний номинал давтамж нь 50 Гц байдаг. Нэгдсэн сүлжээний давтамжийн хазайлт нь техник ашиглалтын дүрмийн дагуу 10 минутын туршид 50±0,2 Гц-ийн хэлбэлзэлтэй тасралтгүй баригдах ёстой. Давтамжийг 50±0,4 Гц-ийн хэлбэлзэлтэй түр хугацаагаар ажиллуулахыг зөвшөөрдөг. Давтамжийн хэлбэлзлийн далайц ±0,2 Гц-ээс хэтрэхгүй байх ёстой [5] гэж "Эрчим хүчний нэгдсэн сүлжээний дүрэм"-д заасан байдаг.



3-р зураг. Эрчим хүчний системд үйлчлэх үйлчлэл

2-р зурагт эрчим хүчний систем дэх хяналтуудын үйлчлэлийг харуулсан байна.

Үйлдвэрлэл талын тохируулга:

Системд багахан хэмжээний давтамжийн өөрчлөлт үүсэх үед анхдагч хяналтаар, зохицуулах элемент буюу governor ажиллаж генераторын үйлдвэрлэлийн хэмжээг нэмэгдүүлнэ.Үүний хоёрдогч хяналтаар генераторыг автоматаар удирдах AGC (Automatic Generation Control) ажиллагаанд оролцон боломжтой эх үүсвэрүүдээс туслалцаа аван давтамжийг сэргээх үйлдлийг хийнэ. Ингээд ч амжилтгүй болсон үед гуравдагч хяналт нь нөөц эх үүсвэрүүдийг ашиглах арга хэмжээ авна.

Ачаалал талын тохируулга:

Гуравдагч хяналт нь автоматаар болон диспетчерийн шийдвэрээр үйлдэл хийдгээрээ онцлогтой билээ.

Давтамж сэргэхгүй, хурдтайгаар унаж аюултай хэмжээнд очсон үед сүүлийн арга болох давтамжаар ачааллыг хөнгөлөх арга хэмжээг авна. Энэ нь давтамж тодорхой тавил хүртэл буурах үед зарим ачааллыг таслах явдал юм. [6]

3. Давтамжийн өөрчлөлтийг судлах программ хангамж.

DIgSILENT PowerFactory

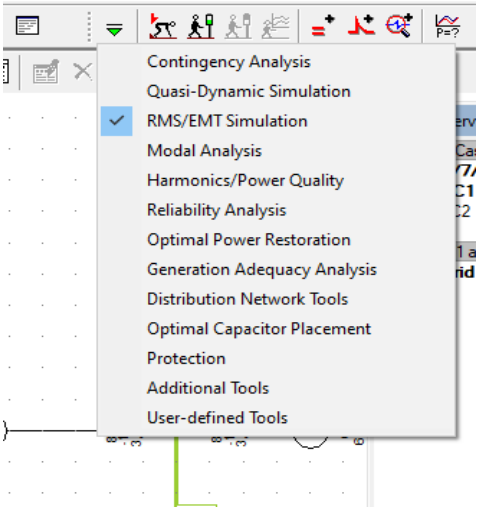
DIgSILENT (DIgital SImuLator for Electrical NeTwork) PowerFactory нь эрчим хүчний системийн судалгаа шинжилгээнд өргөн ашиглагддаг тэргүүлэх программ бөгөөд эрчим хүчний үйлдвэрлэл, дамжуулалт, түгээлт болон үйлдвэрлэлийн системүүдийг шинжлэхэд зориулагдсан. Энэхүү программ нь стандарт функцүүдээс эхлээд нарийн төвөгтэй, өндөр түвшний тооцоолол хүртэлх бүх

төрлийн шинжилгээ хийх боломжийг олгодог. Үүнд салхины эрчим хүч, тархмал эрчим хүчний үйлдвэрлэл, бодит цагийн симуляци, системийн туршилт ба хяналтанд зориулсан гүйцэтгэлийн мониторинг зэрэг орно.

Энэхүү программ хангамж нь дараах олон төрлийн функцуудыг агуулдаг:

- Богино залгааны симуляци
- Гармоник болон давтамжийн шинжилгээ
- Тогтворжилтын анализ
- EMT(ElectromagneticTransients) симуляци
- Хамгаалалтын системийн симуляци,
- Засвар үйлчилгээний төлөвлөлт
- Эрчим хүчний хуваарилалт гэх мэт функцуудыг агуулдаг.

Эдгээр онцлог нь эрчим хүчний системийн судалгаа, загварчлал, дүн шинжилгээ хийх хамгийн боломжит хялбар программуудын нэг болгож байна.



4-р зураг. PowerFactory программ дээр хийх боломжтой тооцооллууд

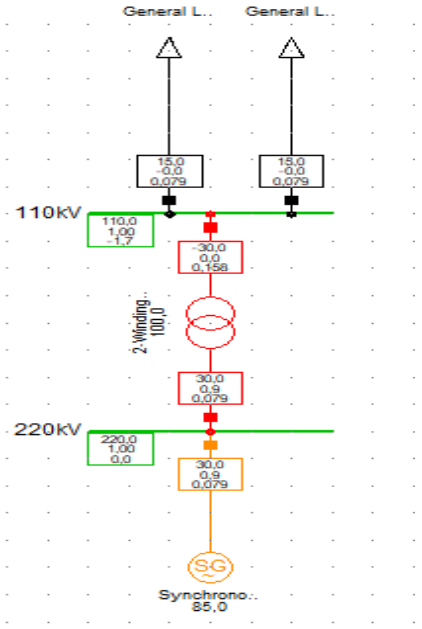
PowerFactory нь хэрэглэхэд хялбар, Windows үйлдлийн системтэй бүрэн нийцдэг бөгөөд найдвартай,уян хатан системийн загварчлалыг хийх боломжийг орчин үеийн алгоритмууд болон баялаг өгөгдлийн сангийн загвартай хослуулсан. Мөн скрипт, код бичих болон бусад системтэй холбогдох уян хатан программ юм [7]. Хэрэглэгч нь өөрийн системийг бүтээх боломжтой ба уг элементүүдэд DIgSILENT PowerFactory программын өгөгдлийн сангаас type оруулж өгөх боломжтой бөгөөд мөн хэрэглэгч өөрийн дураар ч type оруулж өгч болно.

PowerFactory нь GIS-Газарзүйн мэдээллийн систем, EMS–Эрчим хүчний удирдлагын систем DMS–Түгээх сүлжээний удирдлагын систем зэрэг нээлттэй системийн стандартуудыг дэмждэг бөгөөд хэрэглэгчид ачааллын урсгалын тооцоог хийх боломжийг олгодог.[8] Жишээ болгож 110кВ шин дээр богино залгаа хийхэд генераторын давтамж хэрхэн өөрчлөгдөж байгааг харцгаая.

ЭЛЕМЕНТҮҮДИЙН ӨГӨГДӨЛ

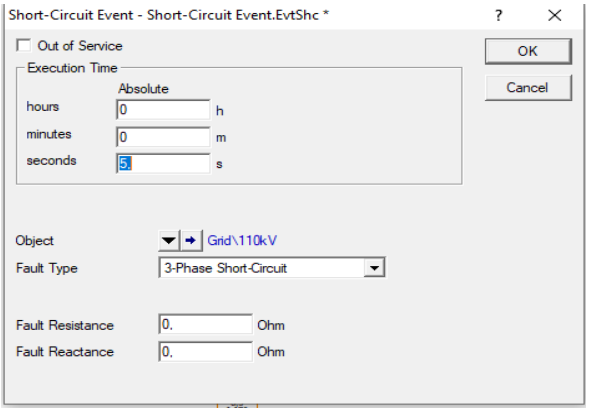
1-Р ХҮСНЭГТ

Элементийн нэр	Чадал МВт	Хүчдэл кВ	Тоо ширхэг
Трансформатор	30	220-110	1
Генератор	30	220	1
Шин	30	220-110	2
Ачаалал	15	110	2



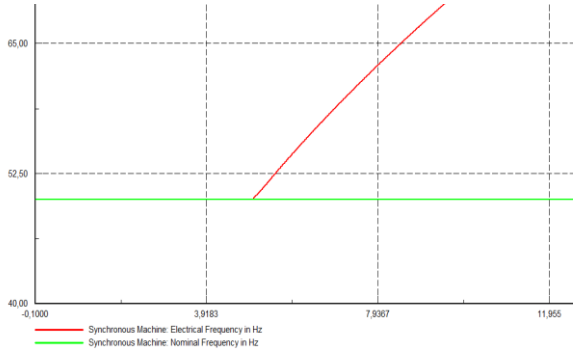
5-р зураг. Жишээ схем

Уг жишээнд IEC 60909 стандартаар гурван фазын богино залгаа хийсэн. IEC 60909 нь олон улсад хүлээн зөвшөөрөгдсөн стандарт бөгөөд богино залгааны тооцоолол хийхэд зориулагдсан. IEC 60909 стандарт нь богино залгааны гүйдлийг тооцоолоход эквивалент гүйдлийн эх үүсвэрийн арга ашигладаг. Энэ арга нь системийн нэрлэсэн хүчдэл, эквивалент импеданс, богино залгааны цэг дэх нөхцөлүүдийг ашиглан гүйдлийг тооцоолдог [9].



6-р зураг.5 дахь секунд дээр богино залгаа хийнэ

Уг жишээн дээр нийт 20 секундийн цикл явагдах ба үүний 5 дахь секунд дээр богино залгаа хийсэн.



7-р зураг. Богино залгаа болсны дараах давтамжийн өөрчлөлт

Уг симуляцийг дүгнэхэд, ачааллыг хангадаг шин дээр богино залгаа болсон ба ачаалал гэнэт тасарснаар генераторын эргэлт хурдсаж давтамж номинал утгаасаа ихсэх шалтгаан болсон.

3. Давтамжийн өөрчлөлтийн хурд (RoCoF)

Давтамжийн өөрчлөлтийн хурд (RoCoF) нь цахилгаан эрчим хүчний системийн хугацааны эгшин дэх давтамжийн өөрчлөлт (df/dt) бөгөөд цахилгаан сүлжээний тогтвортой байдлыг тодорхойлох чухал хэмжигдэхүүн юм.

Цахилгаан системд эрчим хүчний тэнцвэргүй байдал үүсэх (жишээ нь, генератор тасрах эсвэл ачаалал унтрах) үед df/dt-ийн анхны утга нь шууд RoCoF болно. Энэ нь ямар нэг хяналтын үйлдэл эхлэхээс өмнөх агшин зуурын үйл явц юм [10]. Үүнийг 2-р зурагт харуулсан байна.

Давтамжийн өөрчлөлтийн хурд (RoCoF) нь дараах томьёогоор тодорхойлогдоно:

$$RoCoF = \frac{\Delta P_{\text{зөрүү}}}{P_{\text{ач}}} \times \frac{f_{\text{ном}}}{2 \cdot H} \qquad (2)$$

Үүнд: H= Системийн инерцийн тогтмол

RoCoF нь голдуу генератор ба ачааллын тэнцвэргүй байдал гэх мэт тохиолдолд үүсдэг. Хэрэв гэнэтийн саатал үүсвэл, жишээ нь:

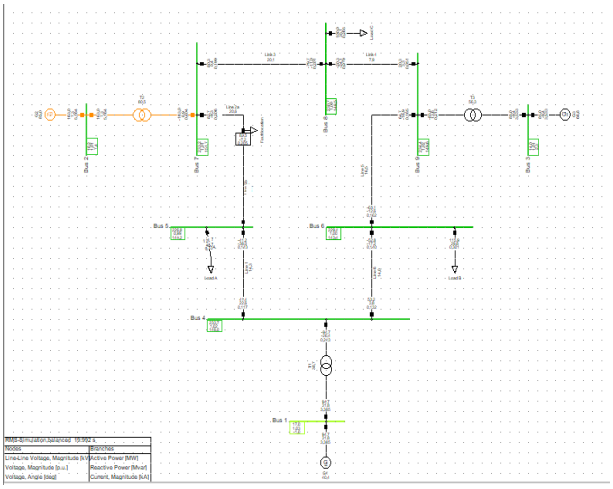
- Генераторт гэмтэл гарах,
- Том ачаалал салгах,
- Шугамд гэмтэл гарах,

Эдгээр нь эрчим хүчний системийн тогтворжилтыг алдагдуулж давтамжийн өөрчлөлт (Δf) үүсгэдэг. Хэрэв тогтворжилт ихээр алдагдвал давтамж илүү хурдан өөрчлөгдөж RoCoF ихсэн, системд гэмтэл, хэвийн бус горим үүсгэн бүр тэг зогсоход хүргэж болзошгүй.

Уламжлал ёсоор ачааллыг таслах хэмжээ болон дараалыг зөвхөн давтамжийн хэмжилтэд тулгуурлан тодорхойлдог байсан. Гэвч сүүлийн үеийн судалгаануудын үр дүнд RoCoF-д суурилсан реле хамгаалалтыг ашиглах нь илүү хурдан, үр дүнтэй хариу үйлдэл үзүүлэх боломжтой болохыг тогтоосон байна [11].

III. ТУРШИЛТЫН ҮР ДҮН

IEEE 9 шинтэй систем нь эрчим хүчний системийн судалгаа шинжилгээнд түгээмэл хэрэглэгддэг туршилтын систем юм. Энэ нь дөрвөн ачаалал, гурван трансформатор, зургаан дамжуулах шугам, болон гурав генератороос бүрдэнэ.



8-р зураг. 9 шинтэй систем

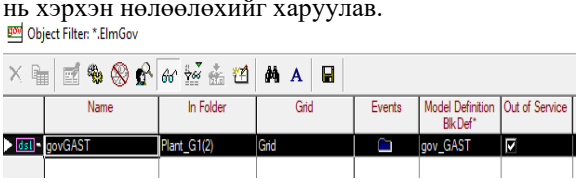
Уг туршилтаар Load B ачаалал дээр 30%-ийн гэнэтийн хэт ачааллыг зохиомлоор хийсэн ба Load B ачаалал нь хэвийн үедээ 91.7МВт хэрэглэдэг бөгөөд үүний 33.1МВт-ийг нь генератор 1-ээс нийлүүлдэг бол 58.6МВт-ийг генератор 3-аас хангадаг байна.

ЭЛЕМЕНТҮҮДИЙН ӨГӨГДӨЛ

2-Р ХҮСНЭГТ

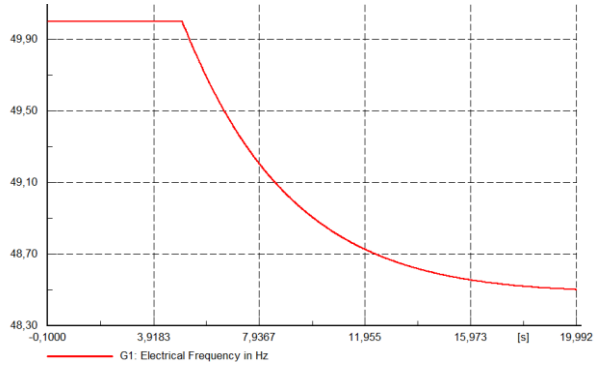
Элементийн нэр	Чадал МВА	Хүчдэл кВ	Тоо ширхэг
Т1	250	230/16.5	1
Т3	150	230/13.8	1
Г3	128	13.8	1
Г1	247,5	16.5	1
LOAD B	95.74	230	1

Уг симуляциар нийт 20 секундийн хугацаанд үргэлжлэх циклийг авч үзсэн ба үүний 5 дахь секунд дээр LOAD B ачаалалд 30%-ийн хэт ачааллыг зохиомлоор үүсгэсэн үед Генератор 1 нь B ачааллын 36.1%-ийг хангадаг учир ачааллын гэнэтийн өсөлт нь хэрхэн нөлөөлөхийг харуулав.



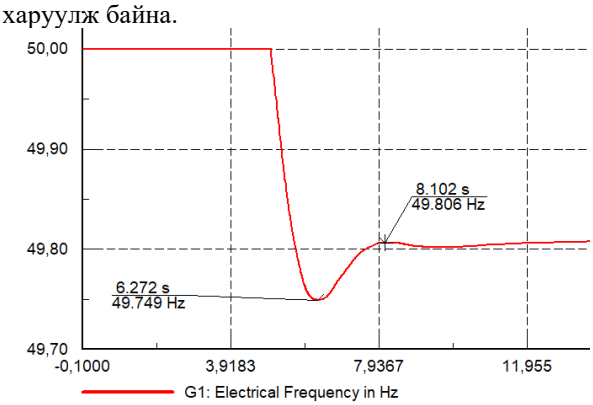
9-р зураг. Андагч хяналт (governor)-ийг ашиглалтаас гаргасан

9-р зурагт үзүүлснээр уг симуляцийг хийхдээ эхлээд анхдагч хяналт байхгүй үед давтамж хэрхэн өөрчлөгдөж байгааг үзүүлнэ.



10-р зураг. Анхдагч хяналт байхгүй үеийн давтамж

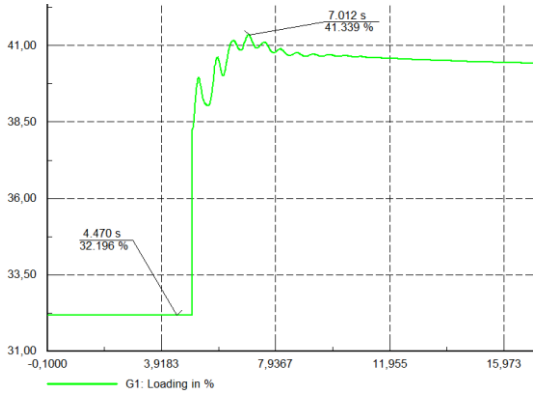
10-р зурагт үзүүлснээр анхдагч хяналт тавигдаагүй генератор давтамжаа тогтворжуулт чадахгүй нөхцөл байдал үүсч байна. Харин анхдагч хяналтыг тавьснаар 11-р зурагт давтамжийн тогтворжилтыг харуулж байна.



11-р зураг. Давтамж бууруулаад, анхдагч хяналтаар тогтворжиж байгаа байдал

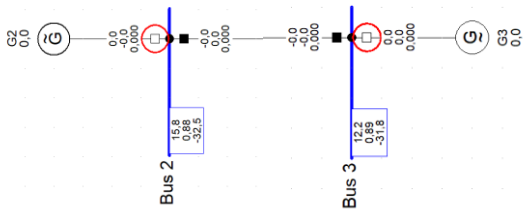
Уг симуляцийн үр дүнгээс харахад 5дахь секундэд давтамж огцом хурдтайгаар унаж, анхдагч хяналт ажилласнаар давтамжийг нэмж бууруулахгүйгээр тогтворжуулж чадсан байна.

Ачаалал ихэссэнээс 1.322 секундийн дараа давтамжийн уналт зогсож 49.749Гц болсон. Энэ давтамжийн хэлбэлзэл 50±0,2Гц байх зөвшөөрөгдөх давтамжаас бага байна. Харин анхдагч хяналт ажилласнаар давтамжийн уналт зогссоноос 1.7 секунд буюу 8.022 секундэд анхдагч тохируулгын ажиллагаагаар бага зэрэг сэргэн, тогтворжиж 49.806Гц болж шаардлагыг хангаж байна.



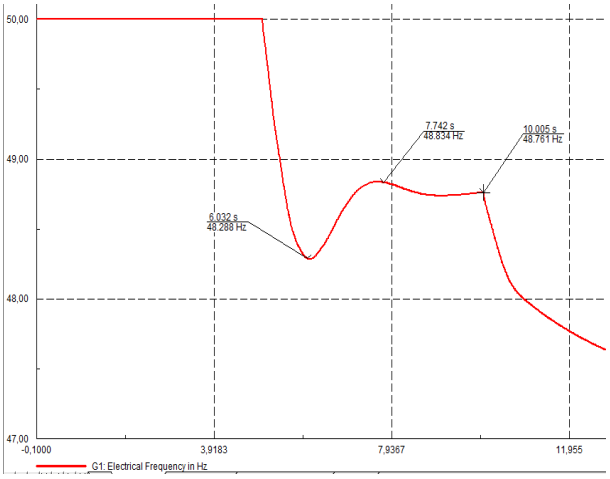
12-р зураг. Генератор 1-ийн ачаалагдах өсөлт (хувиар)

Уг симуляци нь LOAD B ачаалал 30%-иар илүү ачааллах үеийн генератор 1-ийн ачааллах хувийн өсөлтийг харуулж байна.



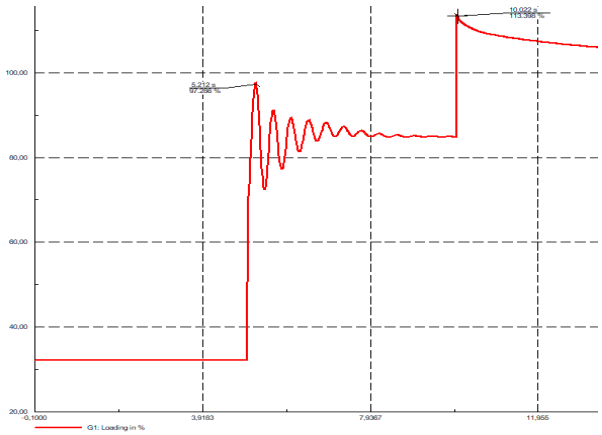
13-р зураг. Генератор 3 болон генератор 2 тасарсан.

Харин энэ удаа генератор 2 болон генератор 3т дараалалсан тасралт болсон үеийг авч үзье. Уг симуляцид нийт 20 секундийн циклийг авч үзсэн бөгөөд 5 дэх секундэд генератор 2 тасарсан бол 10 дахь секундэд генератор 3 тасарсан.



14-р зураг. генератор 2, 3 тасарсан үед генератор 1 ийн давтамж

Уг симуляцид генератор 1 ийн давтамжийг авч үзсэн. Симуляциас харахад 5 дахь секундэд генератор 2 тасарснаар хэвийн байсан давтамж 1.712Гц-ээр огцом унаж 48.288Гц болсон харин үүнээс 1.71 секундийн дараа governer буюу удирдах элемент ажиллаад давтамж 0.546Гц ээр өсөж тогтворжих тийшээ хандаж байх үед 10 дахь секундэд генератор 3 тасарч давтамж огцом унаж анхдагч хяналтаар тогтворжуулах боломжгүй нөхцөл байдал үүсэж байна.



15-р зураг. Генератор 1-ийн ачаалагдах өсөлт (хувиар)

Генератор 1 хэвийн ачаалалтайгаар ажиллаж байх үед 5 дахь секундэд генератор 2 тасарснаар гэнэт ачаалагдах хувь нь өссөн ба тогторжих явцад нь 10 дахь секундэд дахин нэг генератор тасарснаар хэт ачааллын горимд орсон байна.

ДҮГНЭЛТ

Тус судалгааны ажлаар эрчим хүчний системд үүсэх хэвийн бус горим болох давтамжийн өөрчлөлт, үүний үр дагавар болох тогтворжилт алдагдах зэргийг судалсан. Давтамжийн хяналтын хувьд анхдагч, хоёрдогч, гуравдагч, аваарын хяналт гэх хяналтууд байх ба эдгээр нь бүгд эрчим хүчний системийн тогтворжилтыг хангах, давтамжийн өөрчлөлтөд хариу үйлдэл үзүүлэх үүрэгтэй. Уг судалгааны ажлаар зөвхөн анхдагч болон хоёрдогч хяналтыг авч үзсэн бөгөөд симуляци дүн шинжилгээний хувьд зөвхөн анхдагч хяналтыг PowerFactory программ хангамжийн RMS симуляци хэсгийг ашиглан тооцсон болно. Гэвч анхдагч хяналт нь дараалсан генераторын тасралт, саатал, мөн их хэмжээний давтамжийн өөрчлөлтөд хариу арга хэмжээ авахад дутмаг гэдэг онолын тодорхойлолтыг генератор 2,3-ийг тасарсны дараах генератор 1-ийн утгаас харж болно. Үүнээс цаашид хоёрдогч, гуравдагч, аваарын хяналтаар тохируулна.Хоёрдогч хяналтын хувьд илүү нарийвчлан судлах шаардлагатай ба үүнийг бакалаврын төгсөлтийн ажлаараа үргэлжлүүлэн судлах зорилготой байна. Симуляцийн хувьд хэдий генератор нь хэт ачааллын горимд ажиллаагүй байгаа ч гэсэн гэнэтийн ачааллын өсөлтийн улмаас тогтворгүй байдал үүсэж давтамж унаж болохыг харуулж байна.

ТАЛАРХАЛ

Тус эрдэм шинжилгээний ажилд тусалж дэмжсэн ШУТИС, ЭХИС, Цахилгаан техникийн салбарын эрдэмтэн багш Б.Загдхорол болон туслалцаа үзүүлсэн хамтран судлагч Б.Даваахүү нарт талархал илэрхийлье.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] Bevrani, Hassan. Robust Power System Frequency Control. , Springer International Publishing, 2014.

[2] Б. МАНДАХ, Ж. АРСЛАН Цахилгаан системийн реле хамгаалалт, автоматик, 2023.

[3] National Grid ESO. (2020, December). Security & Quality of Supply Standards: Frequency Risk and Control Policy.

[4] G. Пусенков Е.В “Регулирование частоты и перетоков активной мощности в ЕЭС России” презентация ОДУ Сибири, Кемеров 2015

[5] Эрчим хүчний нэгдсэн сүлжээний дүрэм.

[6] Bevrani, H., Watanabe, M., Mitani, Y. (2014). Power System Monitoring and Control

[7] https://www.digsilent.de/en/powerfactory.html

[8] POWER SYSTEM MODELING USING POWERFACTORY SOFTWARE, manual

[9] Ismail Kasikci, "The Significance of IEC 60909 ‑ 0," in Short Circuits in Power Systems: A Practical Guide to IEC 60909-0 , Wiley, 2018,

[10] ENTSO-E Inertia and Rate of Change of Frequency (RoCoF) Version 17 SPD – Inertia TF 16. Dec. 2020

[11] PMU-Based ROCOF Measurements: Uncertainty Limits and Metrological Significance in Power System Applications G. Frigo, A. Dervi˘ skadi´ c, Y. Zuo, and M. Paolone

ГУРВАН ТАРИФТ ТООЛУУРЫН СУДАЛГАА

Б.Адьяамаа[1], Ө.Баярмаа[2]
*Монгол улс, Улаанбаатар. ШУТИС-ЭХИС, Цахилгааны инженерийн салбар, Цахилгаан системийн автоматжуулалтын оюутан
**Монгол улс, Улаанбаатар. ШУТИС-ЭХИС, Цахилгааны инженерийн салбарын багш

Холбогдох и-мэйл хаяг: *Badiyamaa@gmail.com ** ubayarmaa@must.edu.mn

***Хураангуй*: Хэрэглэгч өөрийн хэрэглэсэн эрчим хүчний хэрэглээг хянах, хэмнэлттэй хэрэглэх, цахилгаан энергиэр хангаж буй байгууллага зүй бус алдагдлыг тодорхойлох зарсан эрчим хүчний төлбөрөө авахад хэрэглэдэг хэмжүүрийн багаж нь цахилгааны тоолуур юм.**

Түлхүүр үг— Олон тарифт тоолуур, хоёр тарифт тоолуурыг гурван тариф руу шилжүүлэх, хэрэглэгчид цахилгааны төлбөрөө хөнгөлөх боломж. хэмнэлт, стандарт.

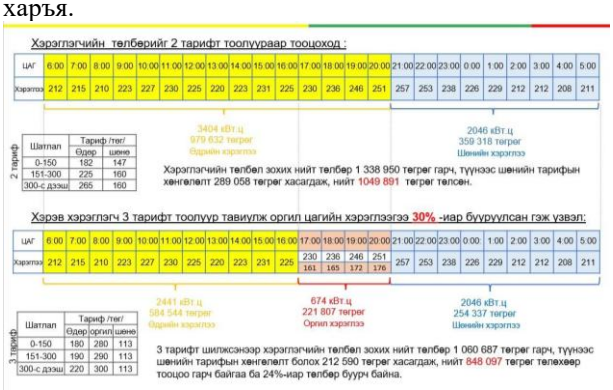
I. УДИРТГАЛ

Монгол улсын хэмжээнд цахилгаан эрчим хүч хэрэглэгчдийн тоо сүүлийн жилүүдэд дунджаар 7-8 хувь, дотоодын эрчим хүчний үйлдвэрлэлийн хэмжээ 6-7 хувиар өссөн байна [1]. Тасралтгүй өсөж байгаа эрчим хүчний хэрэглээ нь ачаалал ихэссэнээр бүс бүрээс цахилгааны хязгаарлалт хийж ачааллаа хөнгөлдөг. Иймээс ачааллыг тэнцвэржүүлж эрчим хүчний хэрэглээг зөв хуваарилах, оргил ачааллын үеийг бууруулах, хэрэглэгчдэд хэмнэлттэй нөхцөл бүрдүүлэх шийдэл бол цагийн ялгаварт тариф буюу хоёр тарифт тоолуурыг гурван тарифт болгох юм. Гурван тарифт тоолуур нь хэрэглэгчдэд цагийн давхаргын үндсэн дээр цахилгаан хэрэглээг удирдах боломжийг олгодог. Хэрэглэгчид шөнийн бага ачааллын бүсэд цахилгаан хэрэглээг шилжүүлэх, Аж ахуйн нэгжүүд өөрсдийн ажиллагааг тарифын оновчтой бүсэд хувиарласнаар илүү хямд тариф ашиглан цахилгаанаа хэрэглэж, зардлаа бууруулах боломжтой. Ингэснээр хэрэглэгч өрхийн цахилгааны төлбөрөө хянаж 30% хүртэл бууруулах боломжтой болно. Монгол улсын хэмжээнд хэрэглэгдэж буй Цахилгаан тоолуурын систем нь бие даасан байдлаар хийгдсэн бөгөөд дараах зорилгоор ашигладаг.

- Олон тарифын горимд актив ба реактив чадал, хүчийг хэмжих;
- Цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээ, борлуулалтын бүртгэл;
- Эрчим хүчний хэрэглээг хянах, удирдах.

II. ГУРВАН ТАРИФТ ТООЛУУРЫН СУДАЛГАА

Эрчим хүчний нэгдсэн системд 2024 оны байдлаар Гурван тарифт тоолуурын шилжүүлэлт Сонгино хайрхан дүүрэгт 100% , Баянзүрх дүүрэгт 50%-тай явагдаж байна [2]. Гурван тарифт руу шилжүүлэхийн тулд хуучин тоолуураа солих шаардлагагүй ба УБЦТС ТӨХК-аас программчлан автоматаар үзүүлэлтүүдийн мэдээллээ авдаг болох юм[2]. Мөн хүний хөдөлмөрийг үнэмлэхүй хөнгөвчилнө. Ахуйн хэрэглэгчийн гурван тарифт тоолуур нь өрхийн цахилгаан хэрэглээг өдрийн 06:00-17:00, оргил ачааллын 17:00-21:00 шөнийн 21:00-06:00 цагуудаар ялгаж тоолдог.Өөрөөр хэлбэл цагийн ялгавартай хэрэглээ нь өөр өөр үнэ тарифаар тооцоологдоно. Хоёр тарифт тоолуур нь өдөр, шөнө гэсэн ангилалтай ба өдрийн хэрэглээ нь 06:00-20:00, шөнийн хэрэглээ нь 21:00-05:00 гэж ангилагдана. Өдрийн хэрэглээний үнэ нь 0-150 кВт.ц бол 182төг, 151-300 кВт.ц бол 225 төг, 300-с дээш кВт.ц бол 265төг болох бол шөнийн хэрэглээ нь 0-150 кВт.ц бол 147төг, 151-300 кВт.ц бол 160төг, 300-с дээш кВт.ц бол 160төг гэж тооцогддог. Гурван тарифт тоолуурын тариф нь хоёр тарифаас өдрийн цагт 7-17%-иар бага, шөнийн цагт 23-29%-иар бага, оройн оргил ачааллын цагт 13-54%-иар өндөр байна[3]. Хоёр тарифт тоолуурыг гурван тарифт тоолуур луу шилжүүлбэл төлбөрийн тооцоо хэрхэн буурахыг харъя.



1-р зураг. Гэр хорооллын цахилгаан халаагууртай хэрэглэгчийн хоёр тарифт тоолуурыг гурван тарифт тоолуураар солиход төлбөр хэрхэн буурч байгааг харуулсан.

2-р зураг.Цахилгааны тарифын өөрчлөлт ба гурван тарифт тоолуурын давуу тал.

Энэхүү тооцоололд хэрэглэгч цахилгааны төлбөрөө 24%-иар бууруулах боломжтой болсон байна.

III. Онол

Нэг фазын олон тарифт тоолуур: Функц, үзүүлэлт, ерөнхий хэрэглээ.

Өндөр технологи бүхий электрон нэг фазын тоолуурууд нь IC unit, сүүлийн үеийн микроэлектроник технологи, SMT процесс зэргийг агуулсан байна. Гүйдлийн загвар болон эд ангийн сонголтууд нь орчны нөлөөллөөс үүсэх алдаа, гэмтлээс сэргийлнэ. Иймээс урт хугацааны найдвартай ажиллагаатай, удаан эдэлгээтэй, өндөр нарийвчлалтай, найдвартай, хэт ачаалал даах чадвар өндөр, цахилгаан зарцуулалт бага, хэмжээ бага болон жин бага байна.Тоолуур нь цахилгаан эрчим хүчний хулгайгаас сэргийлэх функцтэй ба гадна соронзон талбар бүхий буцах чиглэлээр ашигласан хэрэглээг хэмжих ба энэ үед буцах энергийн индикатор асна. Нэг фазын олон тарифт тоолуур нь 50Hz давтамжтай AC актив энергийг хэмжих ба IEC62053-21 стандартын нарийвчлал 1 (class 1) -ийн бүхий л үзүүлэлт шаардлагыг хангаж, IEC62056 стандартын мэдээлэл дамжуулах протоколын шаардлагыг бүрэн хангасан.

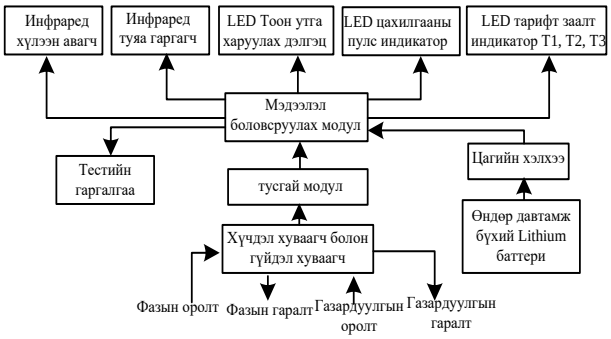
Бүтээгдэхүүний үзүүлэлтүүд: удаан эдэлгээтэй, өндөр нарийвчлалтай, хэт ачаалал даах чадвар өндөр, цахилгаан зарцуулалт бага, хэмжээ бага, үйл ажиллагааны үед мэдээллийн алдаа бага ба үнэн зөв байдал болон найдвартай ажиллагааг бий болгох засварлах функцтэй, цахилгаан тасарсан үед мэдээллийг автоматаар хадгалах горим бүхий, LED дэлгэц нь автоматаар нэмэгдэж буй хэрэглээ болон өөр тарифын хэрэглээ, он сар өдөр, цаг, одоо байгаа тарифын хугацаа зэргийг сольж харуулдаг. Уг тоолуур нь 3 өөр тарифыг 12 цагийн хэсэгт хуваан ажиллах боломжтой. Бодит цагийн схем нь маш өндөр чанарын Lithium батарейтай ба тоолуурын цагийг өндөр нарийвчлалтайгаар хадгална, мэдээллийг унших, функцэд тохиргоо хийх, цаг тохируулах, цагийн хэсэг (time section) бий болгоход ашиглагдах стандарт модулжуулах инфраред дамжуулагч нүүр хэсэг бүхий RS485.

Температур: -40°C..+60°C Дээд харьцангуй чийгшил: 95%

Вольтын ажиллах хүрээ: 230V $^{+20\%--30\%}$

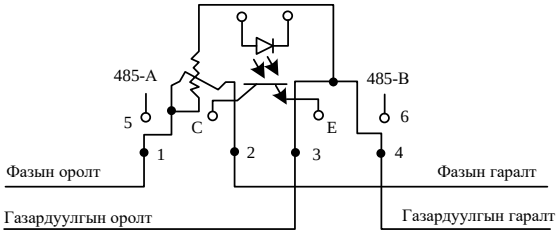
Давтамжийн хүрээ: 50Hz ± 5% байвал зохино.

Ажиллах зарчим



3-р зураг. Нэг фазын олон тарифт тоолуур, Ажиллах зарчмын бүдүүвч

Холболтын схем



4-р зураг. Нэг фазын олон тарифт тоолуурын холболтын схем

Дэлгэцийн функц

	Тэмдгийн байршил	Агуулга
102.00 1	1	Эхлэх цаг болон 1-р цагийн хэсгийн тохиргоо (1-р тариф 2:00 цагаас эхлэнэ)
204.00 2	2	Эхлэх цаг болон 2-р цагийн хэсгийн тохиргоо (2-р тариф 4:00 цагаас эхлэнэ)
306.00 3	3	Эхлэх цаг болон 3-р цагийн хэсгийн тохиргоо (3-р тариф 6:00 цагаас эхлэнэ)
408.00 1	4	Эхлэх цаг болон 4-р цагийн хэсгийн тохиргоо (1-р тариф 8:00 цагаас эхлэнэ)
510.00 2	5	Эхлэх цаг болон 5-р цагийн хэсгийн тохиргоо (2-р тариф 10:00 цагаас эхлэнэ)
612.00 1	6	Эхлэх цаг болон 6-р цагийн хэсгийн тохиргоо (1-р тариф 12:00 цагаас эхлэнэ)
714.00 2	7	Эхлэх цаг болон 7-р цагийн хэсгийн тохиргоо (2-р тариф 14:00 цагаас эхлэнэ)
816.00 3	8	Эхлэх цаг болон 8-р цагийн хэсгийн тохиргоо (3-р тариф 16:00 цагаас эхлэнэ)
918.00 1	9	Эхлэх цаг болон 9-р цагийн хэсгийн тохиргоо (1-р тариф 18:00 цагаас эхлэнэ)
A20.00 3	A	Эхлэх цаг болон 10-р цагийн хэсгийн тохиргоо (3-р тариф 20:00 цагаас эхлэнэ)
b22.00 1	b	Эхлэх цаг болон 11-р цагийн хэсгийн тохиргоо (1-р тариф 22:00 цагаас эхлэнэ)
c23.30 2	c	Эхлэх цаг болон 12-р цагийн хэсгийн тохиргоо (2-р тариф 23:30 цагаас эхлэнэ)
d 01	d	Тоолуурын заалт автоматаар өгөх өдөр нь сар бүрийн эхний өдөр (өөрчлөх боломжтой, 1-ээс 28 хүртэл)
E 5	E	Автоматаар мэдээллийг ээлжлэн харуулах горимд мэдээлэл тус бүрийг 5 секунд харуулна (өөрчлөх боломжтой, 3-30 секунд)
F 30	F	Автоматаар мэдээллийг ээлжлэн харуулах горим дууссаны дараа LED дэлгэц 30 секунд унтарна. (өөрчлөх боломжтой, 0-99 секунд)
0006688	0	Хөрөнгийн код нь 006688 (Өөрчлөх боломжтой ба 12 оронтой тоо байна. Тоолуур зөвхөн сүүлийн 6 оронг харуулна)

5-р зураг. Нэг фазын олон тарифт тоолуурын дэлгэцийн функц.

Тарифын үнэ, цагийн хэсгийн өгөгдлүүдийг программчлах дэлгэц (16 зүйлс)

Автоматаар мэдээллийг ээлжлэн харуулах горимд шилжсэн үед ээлжлэн харуулах товчийг 2 секунд дархад тарифын үнэ, цагийн хэсгийн өгөгдлүүдийг программчлах хэсэгт нэвтрэн орно. Үүний дараа тоолуур нь мэдээллийг автоматаар харуулах тохиргоог үзүүлнэ. Нэг өгөгдлийг тохируулах өгөгдмөл хугацаа нь 10 секунд (өөрчлөх боломжтой). Нэг ээлжлэн харуулах горимыг өөрчилсний дараа автоматаар мэдээллийг ээлжлэн харуулах горимд буцан орно. Автоматаар мэдээллийг ээлжлэн харуулах горим идэвхэжсэн үед тоолуур нь доорх мэдээллийг үзүүлнэ.

Стандарт хэмжилзүйн газраас Монгол улсад ашиглахыг зөвшөөрсөн ухаалаг тоолуур нь Тоолуураас заалт авах, хэрэглэгчийн цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээг түдгэлзүүлэх, сэргээх зэрэг үйлдлийг алсын зайнаас операторын түвшинд гүйцэтгэх боломжтой, балансын болон бусад тооцоонд шаардлагатай фаз тус бүрийн гүйдэл, хүчдэл, чадал гэх мэт үндсэн параметрүүдийг өөр дээрээ хадгалах чадамж бүхий тарифт электрон тоолуурыг хэлнэ[4]. Ухаалаг хэмжүүрийн систем-тодорхой ажлуудыг гүйцэтгэхийн тулд параметрүүдийг сонголтоор гүйцэтгэх боломжтой талбар ашиглан программчилж болох системийг хэлнэ. Эдгээр нь команд өгөх мнемоник тэмдгүүдийг харуулах дэлгэц, операторт шаардлагатай мэдээллийг өгөх тоон үзүүлэлтүүд, ажлын төрлийг солих түлхүүрүүд зэрэг мэдээллийг танилцуулах тэжээлийг салгах үед программын аюулгүй байдлыг хангах нөөц тэжээлийн хэсэгтэй байна. Ийм хэмжих системүүд хэмжлийн бүх үйлдэл, хяналтуудыг тухайн агшинд нь гүйцэтгэх боломжтой байна. Ухаалаг хэмжүүрийн системийн бүтэц, ажиллагааны зарчимд уламжлалт системийн бүхий л сайн талуудыг авснаас гадна микропроцессор ба компьютерын технологийг арай илүү хэрэглэсэн байдаг. Ухаалаг хэмжих системүүд нь хэмжих нөхцөл хэмжих объектын шинж чанарын тухай ажлын мэдээлэл, туслах мэдээлэл, завсрын мэдээллүүдийг тооцох боломжтой хэмжих алгоритмыг хийх боломжийг олгодог. Функционал үйл ажиллагааны нөхцөлийг өөрчлөхтэй холбоотой дахин тохируулах, дахин программчлах боломжтой тул ухаалаг алгоритмууд нь хэмжилтийн хурд болон хэмжилзүйн түвшнийг тасралтгүй сайжруулж нэмэгдүүлэх боломжтой юм.

А. Товчилсон үг

УБЦТС-Улаанбаатар Цахилгаан Түгээх Сүлжээ

ЭХС- Эрчим хүчний салбар

IV. Стандарт

MNS 6068:2010 Мэдээллийн технологи, Компьютерын аюулгүй байдал түүнд тавих шаардлага стандартын тухай. Мэдээлэл өгөгдлийг төрөл бүрийн сүлжээгээр дамжуулах үед түүнийг замаас нь унших, хуулах, өөрчлөх, гэмтээх, нууцлалыг алдагдуулах, нууцаар сонсох Энэ бүх аюулаас сэргийлэх, хадгалалт, дамжуулалтын үед мэдээллийг найдвартай нууцлах, бүрэн бүтэн байдлыг хангах тухай юм.

MNS OIML D 31:2021, Программ хангамжтай хэмжих хэрэгсэлд тавих ерөнхий шаардлага стандартын тухай[5].

Хэмжлийн нэгдмэл байдлыг хангах эрх зүйн орчныг сайжруулах, программ хангамжтай электрон хэмжих хэрэгслийн программ хангамжийн баталгаажуулалттай холбоотой аливаа асуудлыг тодорхой болгох, олон улсын болон үндэсний түвшинд хэмжих хэрэгслийн программ хангамжийн талаарх нэг ойлголттой байх зорилгоор энэхүү олон улсын стандартыг үндэсний хэмжээнд мөрдөхөөр орчуулсан. Хэмжих хэрэгслийн программ хангамжид загварын туршилт, шалгалт гүйцэтгэхэд энэхүү стандартын дагуу баримт бичиг бүрдүүлж авах, туршилтыг гүйцэтгэн, баталгаажуулах талаар хэмжих хэрэгсэл ашиглагч, эзэмшигч болон түүнийг хэрэгжүүлэгч хэмжил зүйн эрх бүхий байгууллага зэрэг эрх зүйн зохицуулалтад хамаарах хэмжлийн үйл ажиллагаанд оролцогчдод ойлгомжтой тодорхой болгосон баримт бичиг юм. Стандартад эрсдэлийн үнэлгээ, программ хангамж ашигладаг хэмжих хэрэгсэлд тавих шаардлага, загварын туршилт, хэмжих хэрэгслийн баталгаажуулалтын асуудлыг тус тус тодорхой зааж өгсөн. Энэ стандарт нь сүүлийн жилүүдэд өргөнөөр ашиглагдах болсон программ хангамжтай хэмжих хэрэгслийн баталгаажуулалт, загварын туршилттай холбоотой асуудлыг цэгцтэй, журамтай болгоход ач холбогдолтой.

V. Дүгнэлт

Цахилгаан эрчим хүч хэрэглэгчдийн тоо тасралтгүй өсөж байгаа энэ үед эрчим хүчээ хэмнэж, үр ашигтай хэрэглэх арга замуудыг хэрэглэж байна.Үүний нэг нь гурван тарифт тоолуур юм. Гурван тарифт тоолуур ашиглах нь хэрэглэгчдэд эрчим хүчний зардлаа оновчтой төлөвлөх, хэмнэлт хийх, цахилгаан эрчим хүчний системийн ачааллыг тэнцвэржүүлэх давуу талтай. Энэхүү систем нь эрчим хүчний хэрэглээнд хариуцлагатай хандлага бий болгох, ногоон эрчим хүчийг дэмжих зэрэг нийгмийн хүрээнд илүү үр дүн бий болгоход тусална. Ирээдүйд энэ технологи нь илүү үр дүнтэй, тогтвортой цахилгаан хэрэглээг бий болгоход чухал үүрэг гүйцэтгэнэ гэж бодож байна.

VI. ТАЛАРХАЛ

Энэхүү эрдэм шинжилгээний ажилд туслалцаа үзүүлсэн УБЦТС ТӨХК-ийн сургалтын инженер С.Буяндэлгэр танд талархлаа.

Ном зүй

[1] С. Батмөнх, Ба. Бат-Эрдэнэ “Монголын эрчим хүчний салбарын хөгжил: I. Тойм, бодлого, шинжилгээ,

загварчлалын асуудал," Эрчим хүч&Engineering. Улаанбаатар, № 197, 2020 оны 7-р сар.

[2] Эрчим хүчний зохицуулах хороо- "Оргил ачааллын цагийг хэрэглээг бууруулах,Эрчим хүч хэмнэх, Үр ашигтай хэрэглэх арга замууд".

[3] Эрчим хүчний зохицуулах хороо- "Эрчим хүчний статик үзүүлэлт, Тайлан", 2023он.

[4] Х.Айтолхын, Б.Цэцгээ, Ц.Ганзориг, "Төвийн бүсийн эрчим хүчний системийн тоолуурын нэгдсэн систем байгуулах асуудал",-УБ хот, 2020 он

[5] Диспетчерийн Үндэсний Төв ТӨХК, "Эрчим хүчний арилжааны үйл ажиллагаанд тоолуурын нэгдсэн системийг ашиглах боломж арга замууд" төслийн танилцуулга.

[6] Ө.Баярмаа, "Мэдээлэл хэмжлэгийн техник-I.ET301" лекц

ХҮЧНИЙ ХАГАС ДАМЖУУЛАГЧИД СУУРИЛСАН ИНВЕРТЕРИЙН СУДАЛГАА

Д.Өлзийноров[1], М.Даваадорж[2]
[1]Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Цахилгааны инженерийн салбар
[2] Монгол улс, Улаанбаатар, Төмөр Замын Дээд Сургууль, Цахилгаан хангамж,
Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: dawaadorjmunkhbat837@gmail.com

Хураангуй: **Энэхүү судалгааны ажлаар тогтмол гүйдлийн эх үүсвэрээс гарч буй гүйдлийг хувирган хүмүүсийн өдөр тутмын хэрэглээндээ шууд хэрэглэх боломжтой хувьсах гүйдэл болгон хувиргах инвертер хийхэд чиглэнэ. Монгол инженерүүд дотооддоо үнэ хямд, найдвартай ажиллагаатай эдийн засагт нийцсэн инвертер хийх хэрэгцээ тулгарч байна. Үүний учир нэг фазын инвертерийн судалгаа хийхэд гол зорилго оршино.**
Түлхүүр үг: Инвертор, тиристор, MOSFET, транзистор, микроконтроллёр

I.ОРШИЛ

Сэргээгдэх эрчим хүчний салбар нь сүүлийн жилүүдэд хурдацтай хөгжиж байгаа ба инвертер нь сэргээгдэх эрчим хүчний салбарт түгээмэл хэрэглэгддэг. Байгаль дэлхийг хамгаалах, экологийн тэнцвэрт байдлыг хадгалж үлдэх зорилгоор хөгжингүй улсууд сэргээгдэх эрчим хүчийг хурдацтай хөгжүүлэх болсон ба зарим улсуудын хувьд эрчим хүчний нөөц шавхагдаж байгаатай холбоотой юм. Тухайлбал Бангладеш улс нь хөгжиж буй орны хувьд эрчим хүчний хэрэглээ өдрөөс өдөрт нэмэгдэж байгаа хэдий ч эрчим хүчний нөөц хязгаарлагдмал, цахилгаан станцын машин механизмын хүчин чадал муудсан тул эрчим хүчний тасалдал том асуудал болсон. Эрчим хүчний хямралыг шийдвэрлэхийн тулд өөрсдийн сэргээгдэх эрчим хүчний нөөц буюу нарны эрчим хүч, био эрчим хүч, газрын гүний дулаан, салхины эрчим хүч болон усан цахилгаан станцын төрлүүдийг ашиглаж эрчим хүчний хямралаас гарах шаардлагатай болсон [2]. Харин манай Монгол орны хувьд нүүрсний нөөц их учир эрчим хүчний нөөц шавхагдах аюулд хараахан өртөөгүй байгаа хэдий ч уудам том газар нутагт тархан нүүдэллэж амьдардаг нүүдэлчдийн хэв маягтай амьдардаг хүмүүс элбэг мөн газар нутгаараа аялж зугаалах нь элбэг байдаг. Гэвч томоохон хот суурин газраас бусад нутагт төвийн цахилгаан эрчим хүчний системд холбогдоогүй учир зөөврийн тогтмол гүйдлийн эх үүсвэр, сэргээгдэх эрчим хүч тэр дундаа нарны эрчим хүчийг ихээр ашиглах болсон тул инвертерийг ихээр хэрэглэх болсон.

II.СЭДЭВ СОНГОСОН ҮНДЭСЛЭЛ

Энэхүү судалгааны ажил нь тогтмол гүйдлийн эх үүсвэрээс гарч буй гүйдлийг хувирган хүмүүсийн өдөр тутмын хэрэглээндээ шууд хэрэглэх боломжтой хувьсах гүйдэл болгон хувиргах инвертер хийхэд чиглэсэн. Үүний тулд инвертерийг хоёр төрлийн аргаар хийж болох ба хувьсах гүйдлийн үе шат эхлэхээс өмнө DC-DC өсгөгч ашиглан тогтмол гүйдлийг өсгөх эсвэл хувьсах гүйдэл болгон хувиргасны дараа трансформатор ашиглан өсгөж хэрэглэх юм [1]. Бидний хувьд хоёрдох арга буюу хувьсах гүйдлийг трансформатор ашиглан өсгөх аргыг судлах болно. Учир нь хүмүүсийн өдөр тутмын ахуйн хэрэглээнд байгаа тогтмол тэжээлийн эх үүсвэр нь 12В-ийн хүчдэлтэй байдаг.

III.СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН АРГА, АРГАЧЛАЛ

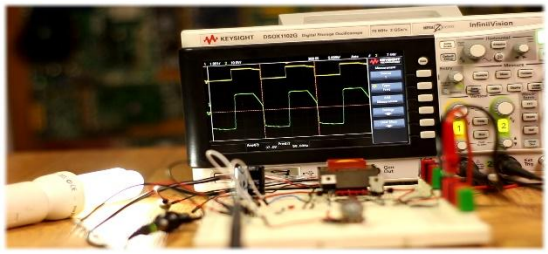
Инвертерийн түгээмэл хэрэглээ нь сэргээгдэх эрчим хүчний салбар ба тэр дундаа нарны эрчим хүчний салбар юм. Нарны эрчим хүчний салбар дахь инвертерийн хэрэглээг ангилж үзвэл сүлжээнд холбогддог инвертер (on grid inverter) ба сүлжээнээс гадуурх инвертер (off grid inverter) гэж ангилж болно.

Инвертер гэдэг бол тогтмол гүйдлийн эх үүсгүүрээс хувьсах гүйдэл, хүчдэл гарган авдаг шулуутгагчаас эсрэг зарчимд үндэслэн ажилладаг төхөөрөмж юм. Инвертерийг тэжээлийн үүсгүүрийн төрлөөс хамаарч хүчдэлийн үүсгүүрт (Voltage Source Inverter) ба гүйдлийн үүслүүрт (Current Source Inverter) гэж ангилна. Мөн фазын тоогоор нь нэг ба олон фазын инвертер гэж ангилдаг. Нэг фазын инвертерийг хагас гүүрэн ба бүтэн гүүрэн гэж ангилдаг. Тогтмол гүйдлийн эх үүсгүүрт төрөл бүрийн батарей, аккумлятор, нарны элемент гэх мэт бусад тогтмол гүйдэл гаргадаг хэрэгслүүд орно. Инвертер нь тогтмол гүйдлийн тэжээлийн эх үүсгүүрээс хувьсах хүчдэлийг хангадаг бөгөөд хувьсах гүйдлийн хүчдэлээр үнэлэгдсэн цахилгаан хэрэгсэл, цахилгаан багажийг тэжээхэд хэрэгтэй. Инвертерийг үйлдвэрийн салбарт хувьсах гүйдлийн хөдөлгүүрийн хурдыг өөрчлөх, индукцийн зуухны халалтыг тохируулах, тоноглолын авч буй чадлын урсгалыг технологийн горимд зохицуулах гэх мэт зорилгоор ашигладаг.

IV.СУДАЛГААНЫ ХЭСЭГ

Электроник ба цахилгааны инженерчлэлийн хүрээнд "топологи" гэдэг нь хэлхээ эсвэл систем доторх бүрэлдэхүүн хэсгүүдийн тохиргоо эсвэл зохион байгуулалтыг хэлнэ. Энэ нь резистор, конденсатор, индуктор, транзистор болон бусад идэвхтэй эсвэл идэвхгүй төхөөрөмжүүд гэх мэт янз бүрийн элементүүдийн хоорондын холбоо, харилцааг тоймлодог.

Инвертер гэдэг бол тогтмол гүйдлийн эх үүсгүүрээс хувьсах гүйдэл, хүчдэл гарган авдаг шулуутгагчаас эсрэг зарчимд үндэслэн ажилладаг төхөөрөмж юм. Тогтмол гүйдлийн эх үүсгүүрт төрөл бүрийн батарей, аккумлятор, нарны элемент гэх мэт бусад тогтмол гүйдэл гаргадаг хэрэгслүүд орно. Инвертер нь тогтмол гүйдлийн тэжээлийн эх үүсгүүрээс хувьсах хүчдэлийг хангадаг бөгөөд хувьсах гүйдлийн хүчдэлээр үнэлэгдсэн цахилгаан хэрэгсэл, цахилгаан багажийг тэжээхэд хэрэгтэй. Инвертерийг үйлдвэрийн салбарт хувьсах гүйдлийн хөдөлгүүрийн хурдыг өөрчлөх, индукцийн зуухны халалтыг тохируулах, тоноглолын авч буй чадлын урсгалыг технологийн горимд зохицуулах гэх мэт зорилгоор ашигладаг.

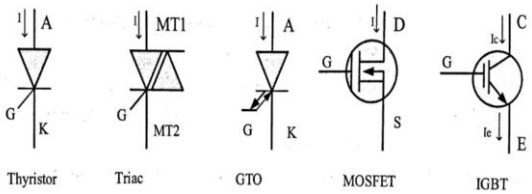


1-р зураг. Цахилгаан дохио

Инвертерийн угсралтанд ашиглагдах ерөнхий элементүүд

Тиристор: Тиристорууд ихэвчлэн гурван терминалтай, үндсэн дамжуулах хэсэгтээ p болон n төрлийн материал ээлжлэн байрласан дөрвөн давхаргатай (өөрөөр хэлбэл, гурван p-n холбоостой) байдаг. Транзисторт ачаалал болон удирдлагын гүйдэл хоорондын шугаман хамаарал байдаг бол тиристор нь хоёр тогтвортой төлөвт оршдог. Тиристорын удирдлагын терминалыг "гейт" (G) электрод гэж нэрлэх ба энэ нь төхөөрөмжийн нэг хэсэг болох нарийн нийлмэл бүтэцтэй холбогдож болно. Харин үлдсэн хоёр терминал болох анод (A) болон катод (K) нь их хэмжээний хүчдэлийг (ихэвчлэн хоёр туйлтай) хариуцаж, тиристороор дамжин өнгөрөх гол гүйдлийг удирдана. Анод болон катодын терминалууд нь цахилгааныг хянах зориулалттай ачаалалтай цуваа холбогддог.

Транзистор: Транзистор гэдэг бол өсгөгч, унтраалга эсвэл бусад электрон хэлхээнд дохио боловсруулахад ашиглаж болох хагас дамжуулагч төхөөрөмж юм. Транзисторын үндсэн үүрэг нь гуравдагч терминалд өгсөн хүчдэлийг өөрчлөх замаар хоёр терминалын хоорондох цахилгаан гүйдлийн урсгалыг хянах явдал юм. Ийм байдлаар транзисторууд дохиог өсгөж, шилжүүлэгчийн үүрэг гүйцэтгэж, электрон хэлхээнд янз бүрийн логик функцүүдийг гүйцэтгэдэг.



2-р зураг. Хүчний хагас дамжуулагч төхөөрөмжүүдийн тэмдэглэгээ

Хүчний хагас дамжуулагч дараах хэд хэдэн төрөлтэй. Үүнд:

1. Цахиурын удирдлагатай шулуутгагч
2. Статик индукцийн тиристор
3. Триак
4. Хаалттай тиристор
5. Металл оксид давхаргатай удирдлагатай тиристор
6. Интеграл удирдлагатай тиристор.

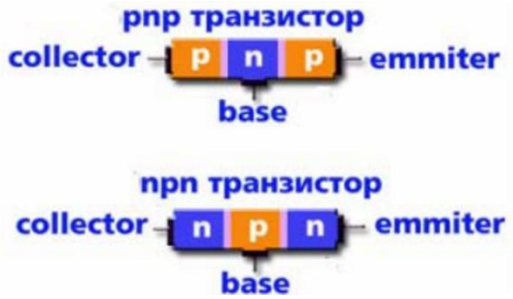
Хүчний транзисторуудын төрөл:

a. Биполяр транзистор
b. Металл оксид давхаргатай оронгийн транзистор
c. Тусгаарлагдсан гейттэй биполяр транзистор
d. Статик индукцлэлтэй транзистор

Хүчний хагас дамжуулагч төхөөрөмжүүдийг удирдлагын төрлөөр нь:

1. Удирдлагагүй
2. Удирдлагагүй
3. Бүрэн удирдлагатай
4. Бүрэн удирдлагатай

- Хүчний диод
- Энгийн хүчний тиристор
- Хүчний транзистор
- Удирдлагаар хаагддаг тиристор



3-р зураг. PNP, NPN шилжилттэй биполяр транзистор

Хүчний MOSFET транзисторын ажиллах зарчим, хэрэглээ MOSFET буюу metal-oxide-semiconductor field-effect transistor нь оронгийн транзисторын нэг төрөл бөгөөд хагас дамжуулагч метал хоёрын дундуур исэл хавчуулж тусгаарласан бүтэцтэй учир ийнхүү нэрлэгдсэн юм. Сүүлийн үед цахиурыг хагас дамжуулагч болгон ашиглах нь түгээмэл. MOSFET нь ихэвчлэн gate, drain, source гэсэн 3 шонтой ба, үүний дотор gate дэх цахилгаан хүчдэл нь үлдсэн drain, source-ийн хоорондох гүйдлийг удирдана. MOSFET-ийн

нэг давуу тал нь оролтоор (gate-ийг оролт болгосон үед) тогтмол гүйдэл гүйдэггүй. Иймд MOSFET нь энерги зарцуулахгүй учир энерги бага зарцуулдаг дижитал хэлхээнд өргөнөөр ашиглагддаг.

Эсэргүүцэл: Цахилгаан дамжуулагчаар цахилгаан гүйдэл гүйх үед дамжуулагчаас цахилгаан гүйдэлд саад болж буй хэмжигдэхүүнийг цахилгаан эсэргүүцэл гэнэ. Биеийн эсэргүүцэл нь тухайн биеийн өгөгдсөн хэсгийн потенциалын ялгаврын хувьд түүгээр нэвтрэн өнгөрөх цахилгаан гүйдлийн хэмжээг тодорхойлдог.

$$R = \frac{U}{I} \qquad (1)$$

Энд:

- R -эсэргүүцэл
- U -хүчдэл
- I -гүйдэл

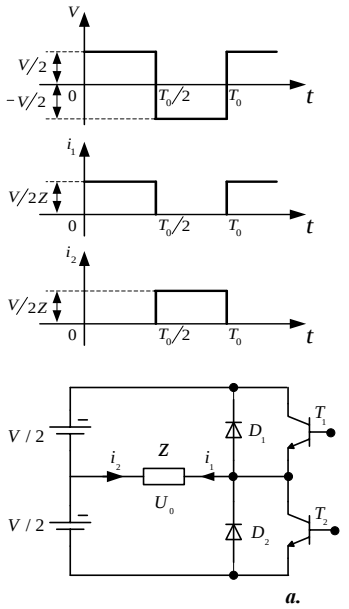
Трансформатор: Трансформатор гэдэг нь гүйдэл, хүчдэлийн хувьсах шинж чанарыг алдагдуулахгүйгээр зөвхөн хувьсах хүчдэлийн тоон утгыг өөрчлөгч цахилгаан соронзон индукцийн үзэгдэл дээр үндэслэгдсэн аппарат юм.

Шүүлтүүр: Интегралчлагч, дифренциаллагчлагч хэлхээнүүдийн ДДТ-оос ямар давтамжийг сайн нэвтрүүлж байна вэ гэдгээр нь интегралчлагч хэлхээг нам давтамжийг нэвтрүүлэх шүүлтүүр (low pass filter), дифференциаллагч хэлхээг өндөр давтамжийг нэвтрүүлэх шүүлтүүр (high pass filter) гэж нэрлэж болдог. Тэгвэл дээрх хэлхээнүүдийг нэвтрүүлдэггүй давтамжаар нь өндөр давтамжийг хаах шүүлтүүр (high stop filter), нам давтамжийг хаах шүүлтүүр (low stop filter) гэж нэрлэж бас болно.

V.ТООЦООНЫ ХЭСЭГ

Нэг фазын хагас үетэй инвертерийн ажиллах зарчим, тооцоо: Инвертерийн ажиллах зарчмыг идэвхтэй ачаалалтай, транзисторны түлхүүр бүхий хагас гүүрэн инвертер дээр авч үзье.

б.



а.

Зураг 1. 9 Хагас үетэй гүүрэн инвертер
а. Цахилгааны схем
б. Хүчдэл, гүйдлийн график

Энэ инвертер нь түлхүүрийн горимоор ажилладаг хоёр транзистор (T1, T2), гүйдэл үүсгэгч (U/2), хоёр диод (D1, D2),-оос бүрдэж байна. Эхний транзистор T1, 0-оос T/2 хүртэлх хугацаанд нээлттэй байна гэвэл гүйдэл дээд хэсэгт байна гүйдлийн эх үүсгэвэрээс нээлттэй транзистор T1-ээр дайрч ачааллын баруун гар талаас орж ирнэ. Хугацаа T/2 болоход T1 транзистор хаагдаж, энэ агшинд транзистор T2 нээгдэж, T/2 –оос T хүртэл нээлттэй байна гэж үзвэл схемийн доод хэсэгт байгаа гүйдлийн эх үүсгэвэрээс сая нээгдсэн транзистор T2-оор дамжин ачааллын зүүн гар талаас талаас урсана. Ийнхүү нэг үеийн дотор ачааллын гүйдэл болон ачаалал дээрх хүчдэл чиглэлээ өөрчилж хувьсах гүйдлийн зарчим хэрэгжиж байна. Өөрөөр хэлбэл тогтмол гүйдлээс хувьсах гүйдэл гаргаж авна гэсэн үг.

Инвертерийн гаралтын хүчдлийн үйлчлэх утга:

$$V = \left(\frac{2}{t}\int_0^{T/2}\left(\frac{U_S}{2}\right)^2 dt\right)^2 = \frac{U_S}{2} \qquad (1)$$

Тэгш өнцөгт хэлбэртэй хувьсах хэмжигдэхүүнийг Фуригийн цуваагаар задлахад сондгой тоот гармоникуудын нийлбэр байдаг. Тийм болохоор энэ инвертерийн гаралтын хүчдэлийн агшин зуурын утга нь дараах илэрхийллээр томьёологдоно:

$$u = \sum_{\eta=1,3,5,\ldots}^{\infty}\left(\frac{2}{n\pi}sin(n\omega t)\right) \qquad (2)$$

Инвертер нь практикт гол төлөв идэвхтэй ба реактив (индукцлэл давамгайлсан) RL-ачаалалтай байдаг. Үүнд зориулж

инвертерийн гүйдлийн агшин зуурын утгыг тодорхойлох томьёо:

$$i = \sum_{n=1,3,5,\ldots}^{\infty} \left(\frac{2U}{n\pi\sqrt{R^2+(n\omega L)^2}} \sin\left(n\omega t - \rho_\eta\right) \right) \quad (3)$$

VII. ДҮГНЭЛТ

Энэхүү дипломын судалгааны ажлаар “Хүчний хагас дамжуулагчид суурилсан инвертерийн судалгаа” сэдвийг сонгон авч нэг фазын цэвэр синуслэг инвертерийн тухай судалсан. Технологийн процессод инвертерийн гаралтын хүчдэлийг аль болох синуслэг хэлбэртэй байлгах хэрэгтэй болдог. Өөрөөр хэлбэл инвертерээр тэжээгдэж байгаа тоног төхөөрөмж нь цэвэр синуслэг хэлбэртэй гүйдэл хүчдэл хэрэглэх юм. Ихэнх тохиолдолд инвертерийн гаралтад дээд гармоник гүйдэл хүчдэл үүсдэг. Бага дунд чадлын хэрэглэгчийн хувьд гаралтын хүчдэл тэгш өнцөгт, шаталсан тэгш өнцөгт, трапец хэлбэртэй байхыг зөвшөөрдөг. Харин их чадлын хэрэглэгчийн хувьд инвертерийн гаралтын хүчдэлийн дээд гармоникуудын далайцыг бага болгох зорилгоор нэмэлт элементүүдийг суурилуулдаг.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1].https://www.slideshare.net/slideshow/design-and-development-of-1000w-pure-sine-wave-inverter-using-egs002-spwm-module/260448992 M. Tripathi, "Design and development of pure sine wave inverter," National institute of technology, Uttarakhand, Uttarakhand, India, 2023.

[2].https://www.researchgate.net/publication/343294105_Development_of_One-kilowatt_Capacity_Single_Phase_Pure_Sine_Wave_Off-grid_PV_Inverter

[3] . R. H. A. R. Saurav Das, "Development of One-kilowatt capacity single phase pure sine wave off-grid PV inverter," Electrical and Electronic engineering, independet Universicy, Bangladesh, Dhaka, Bangladesh, 2020.

[4]. “Хүчний электроник хувиргах техник” Х.Сарангэрэл, Д.Өлзийноров /2020 он/

[5]. “Электроникийн үндэс” Б.Бат-отгон /2017 он/

ТОГТМОЛ ГҮЙДЛИЙН МОТОРЫН МАТЕМАТИК ЗАГВАРЫГ ТАНИХ БА УДИРДАХ СИСТЕМИЙН СУДАЛГАА

Т. Уганбаяр, А. Бадрал, Б. Энх-Амгалан
Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Цахилгаан техникийн салбар
Холбогдох зохиогчийн и-мэйл хаяг: enkhamgalan.b@must.edu.mn

***Хураангуй*: Энэ судалгааны ажлаар тогтмол гүйдлийн моторын математик загварыг тодорхойлж, тухайн моторын дамжуулалтын функцийг гаргасан. Дамжуулалтын функцийг бүрэн тодорхойлоход шаардлагатай зарим параметр үйлдвэрийн техникийн тодорхойлолтод өгөгдөөгүй тул тогтмол гүйдлийн хурдны PID удирдлага боловсруулж, туршилтын аргаар удирдлагын коэффициентуудыг тогтмол өндөр хурд, шаталсан хурд, синус функцээр өөрчлөгдөх гурван төрлийн удирдлагын сигнал дээр тодорхойлон амжилттай хэрэгжүүлсэн. Улмаар бодит туршилтын эдгээр хэмжилтийн өгөгдлийг ашиглан Matlab/Simulink программын System identification toolbox-оор энэ моторын математик загварыг 95.56% таньж тодорхойлсон. Ингэж тодорхойлсон моторын дамжуулалтын функц дээр PID autotuning хэрэгслийг ашиглан тохируулгын коэффициентуудыг тохируулав. Уг математик загварыг ашиглан автомат удирдлагын тохируулгыг симуляцийн орчинд хялбархан хөгжүүлэх боломжтой юм.**

Түлхүүр үг: дамжуулалтын функц, мотор драйвер, PID удирдлага, коэффициент тохируулга, эргэлтийн мэдрүүр.

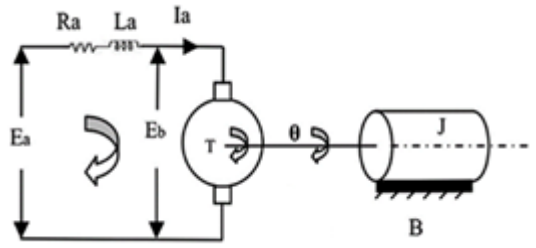
I. УДИРТГАЛ

Тогтмол гүйдлийн моторууд нь олон салбарт, ялангуяа үйлдвэрлэл, автоматжуулалт, робот техникийн систем зэрэгт өргөн ашиглагддаг, чухал цахилгаан төхөөрөмж юм. Эдгээр моторуудын ажиллагаа болон удирдлагыг оновчтой болгохын тулд тэдгээрийн параметрүүдийг нарийн тодорхойлох нь амжилттай удирдлагын систем зохион бүтээх, моторын гүйцэтгэлийг сайжруулахад чухал алхам болдог. Моторын параметрүүдийг тодорхойлсноор моторын үйл ажиллагааг бусад бүрэлдэхүүн хэсгүүдтэй зохицуулж, ажиллагааг сайжруулдаг [1, 2].

Тогтмол гүйдлийн моторын параметрүүд болох ороомгийн эсэргүүцэл, ороомгийн индукцлэл, цахилгаан хөдөлгөгч хүч зэрэг нь моторын цахилгаан ба механик шинж чанарт шууд нөлөөлдөг. Эдгээр параметрүүдийг тодорхойлсноор инженерүүд болон зохион бүтээгчид моторын ажиллах нөхцөлд ямар үр дүн гарахыг урьдчилан тооцох, моторын хэвийн ажиллагаанд гажиг үүссэн эсэхийг түргэн илрүүлэх, оношлох, симуляцийн загварт оруулах боломжтой. MATLAB/Simulink зэрэг программ хангамж ашиглан моторын оновчтой симуляц хийх, туршилт явуулж болох бөгөөд симуляц нь бодит моторын системийг бодит байдалд туршихаас өмнө аюулгүй орчинд тест хийх, үр дүнг урьдчилан харах боломжийг олгодог [3-5]. Үүгээр дамжуулан судлаачид моторын системийн ажиллагааг сайжруулах, оновчтой удирдлага боловсруулах боломжтой болно. Мөн PID удирдлага болон бусад удирдлагын системүүдийн загварчлалд эдгээр параметрүүдийг ашигласнаар моторын хариу үйлдлийг нарийвчлалтай удирдах боломж бүрддэг. Тогтмол гүйдлийн моторыг томоохон системд нэгтгэх үед түүний параметрүүдийг мэдэж байх нь системийн нийцтэй байдал болон үр дүнтэй ажиллагааг хангахад маш чухал юм. Жишээлбэл, автоматжуулалтын болон робот техникийн системд тогтмол гүйдлийн моторыг нэгтгэхдээ моторын хурд, эргэлт, хүчдэл зэрэг параметрүүдийг зөв тодорхойлж байж системийг зөв ажиллуулах боломжтой [6]. Тогтмол гүйдлийн моторын параметрүүдийг зөв тодорхойлж, симуляцийн загварчлалд ашиглах, удирдлагын системийг зохион бүтээх замаар моторын гүйцэтгэлийг оновчтой болгох, эрчим хүчний үр ашгийг дээшлүүлэх, төхөөрөмжийн найдвартай ажиллагааг хангах зэрэгт чиглэн ажилласан болно.

II. ТОГТМОЛ ГҮЙДЛИЙН МОТОРЫН МАТЕМАТИК ЗАГВАР

Тогтмол гүйдлийн моторын математик загварчлал нь моторын цахилгаан, механик, соронзон шинж чанаруудын хоорондын хамаарлыг тодорхойлдог. Бид моторын үйл ажиллагааг илэрхийлдэг хүчдэл, гүйдэл, мушгих хүч, өнцөг хурд зэрэг хэмжигдэхүүнүүдийг харгалзан тэгшитгэлийг гаргасан [7].



1-р зураг. Тогтмол гүйдлийн моторын математик загварын схем

Тогтмол гүйдлийн моторын математик загварын схемийг 1-р зурагд үзүүлэв. Тогтмол гүйдлийн моторын цахилгаан хэлхээний хэсэг нь якорийн ороомгийн эсэргүүцэл, якорийн ороомгийн индукцлэл, цахилгаан хөдөлгөгч хүч зэргээс хамаарна. Цахилгаан хөдөлгөгч хүч нь тогтмол гүйдлийн моторт өгсөн тэжээлийн хүчдэлийн эсрэг чиглэлд үйлчилж, моторын эргэлтийн тоонд шууд хамааралтай.

A. Тогтмол гүйдлийн моторын цахилгааны загвар:

Моторын арматурт өгөгдсөн хүчдэлийг Кирхгоффын хүчдэлийн хуулиар тодорхойлж болно. Моторын оролтын хүчдэл болох E_a нь якорийн ороомгийн эсэргүүцэл R_a, якорийн ороомгийн

индукцлэл L_a, болон цахилгаан хөдөлгөгч хүч E_b-ын хүчдэлийн нийлбэр юм [8].

$$E_a = R_a I_a + L_a \frac{dI_a}{dt} + E_b \quad (1)$$

Үүнд:
E_a нь якорьт өгөгдөж байгаа хүчдэл [V]
R_a нь якорийн ороомгийн эсэргүүцэл [Ω]
I_a нь якорийн ороомгийн гүйдэл [A]
L_a нь якорийн ороомгийн индукцлэл [H]
E_b нь цахилгаан хөдөлгөгч хүч [V]
Цахилгаан хөдөлгөгч хүч нь моторын өнцөг хурд ω-тэй пропорциональ:

$$E_b = K_b \frac{d\theta}{dt} = K_b \omega(t) \quad (2)$$

Үүнд:
K_b нь цахилгаан хөдөлгөгч хүчний тогтмол [V/rad · s]
ω нь моторын өнцөг хурд [rad/s]
θ нь моторын голны байрлал [rad]

B. Тогтмол гүйдлийн моторын механик загвар:

Моторын механик динамик нь Ньютоны хоёрдугаар хуулийг ашиглан загварчлагддаг. Моторын үүсгэж буй мушгих момент T нь якорийн ороомгийн гүйдэл (I_a) -тэй пропорциональ байна:

$$T = J_m \frac{d^2\theta(t)}{dt^2} + B_m \frac{d\theta}{dt} = K_t I_a \quad (3)$$

Үүнд:
T нь мушгих момент [Nm]
K_t нь мушгих моментын тогтмол $\left[\frac{\mathrm{Nm}}{\mathrm{A}}\right]$
B_m нь зуурамтгай үрэлтийн коэффициент $\left[\mathrm{Nm} \cdot \frac{\mathrm{rad}}{\mathrm{s}}\right]$
J_m нь моторын ачааллын инерцийн момент $[\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}^2]$

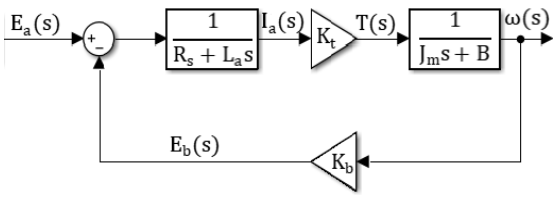
Дээрх (1), (2) ба (3) тэгшитгэлүүдийг Лапласын хувиргалтаар хувиргавал дараах тэгшитгэлүүдээр илэрхийлэгдэнэ.

$$E_a(s) = (R_a + L_a(s))I_a(s) + E_b(s) \quad (4)$$

$$E_b = K_b \omega(s) \quad (5)$$

$$T(s) = J_m s\omega(s) + B_m \omega(s) = K_t I_a(s) \quad (6)$$

Дээрх тэгшитгэлийг 2-р зурагд блок схемээр үзүүлэв.



2-р зураг. Тогтмол гүйдлийн моторын блок диаграмм

(5) тэгшитгэлийг (4) тэгшитгэлд орлуулж (4) тэгшитгэлээс $I_a(s)$-г ялгаж авбал:

$$I_a(s) = \frac{E_a(s) - K_b \omega(s)}{R_a + L_a(s)} \quad (7)$$

(1.6) тэгшитгэлээс мөн адил $I_a(s)$-г ялгаж авбал:

$$I_a(s) = \frac{(J_m s + K_b)\omega(s)}{K_t} \quad (8)$$

(7) болон (8) тэгшитгэлийг тэнцүүлэн дамжуулалтын функцийг гаргаж авбал:

$$G(s) = \frac{\omega(s)}{E_a(s)} = \frac{K_t}{\big(R_a + L_a(s)\big)\big((J_m s + B_m) + K_t K_b\big)} \quad (9)$$

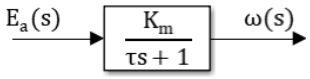
$$K_m = \frac{K_t}{(R_a(J_m s + B_m) + K_t\, K_b)} \quad (10)$$

$$\tau = \frac{L_a(J_m s + B_m)}{(R_a(J_m s + B_m) + K_t K_b)} \quad (11)$$

(11), (10) тэгшитгэлийг (9)-д орлуулбал:

$$G(s) = \frac{K_m}{(\tau s + 1)} \quad (12)$$

Тогтмол гүйдлийн моторыг дамжуулалтын функцээр илэрхийлэн 3-р зурагд үзүүлэв.



3-р зураг. Хялбарчилсан тогтмол гүйдлийн моторын блок диаграмм

C. Тогтмол гүйдлийн моторын хурдны PID удирдлагын блок диаграмм:

PID удирдлагын гаралт нь:

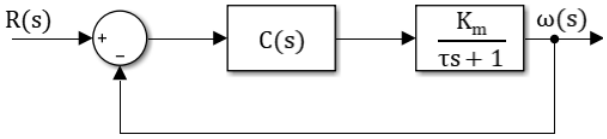
$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) + \frac{K_d\big(de(t)\big)}{dt} \quad (13)$$

Үүнд:
$u(t)$ нь удирдлагын гаралтын дохио
K_p нь пропорционал өсгөлтийн коэффициент
K_i нь интеграл өсгөлтийн коэффициент
K_d нь дифференциал өсгөлтийн коэффициент
$e(t)$ нь зөрүү

(13) тэгшитгэлийг Лапласын хувиргалтаар хувиргавал дараах тэгшитгэлээр илэрхийлэгдэнэ.

$$C(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (14)$$

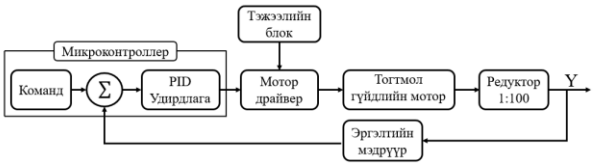
PID удирдлага болон тогтмол гүйдлийн моторыг блок схемээр 4-р зурагд үзүүлэв.



4-р зураг. PID удирдлага болон тогтмол гүйдлийн моторын блок диаграмм

III. ТОГТМОЛ ГҮЙДЛИЙН МОТОРЫН ХУРДНЫ УДИРДЛАГЫН ТӨХӨӨРӨМЖИЙН БҮТЭЦ

Тогтмол гүйдлийн моторын хурдны PID удирдлагын блок диаграммыг 5-р зурагд үзүүлэв.



5-р зураг. Тогтмол гүйдлийн моторын PID удирдлагын блок диаграмм [9]

Микроконтроллер:
- Команд: Хэрэглэгчээс тохируулсан хурдаар (эсвэл байрлал) команд өгч оролт болгоно.
- Σ (Зөрүү): Тохируулсан хурд болон системийн гаралт (Y)-ын зөрүүг тооцоолж, алдаа үүсгэнэ.
- PID Удирдлага: Алдааг (зөрүү) боловсруулж, моторыг нарийвчлалтай удирдах PWM дохио үүсгэнэ.

Мотор драйвер:
- Микроконтроллероос ирсэн PWM дохиог ашиглан хөдөлгүүрт цахилгаан хүчдэл өгч, моторыг удирддаг.

Тогтмол гүйдлийн мотор:
- Энэ нь үндсэн хөдөлгүүр бөгөөд мотор драйвераас ирсэн хүчдэлээр хурдаа өөрчилдөг.

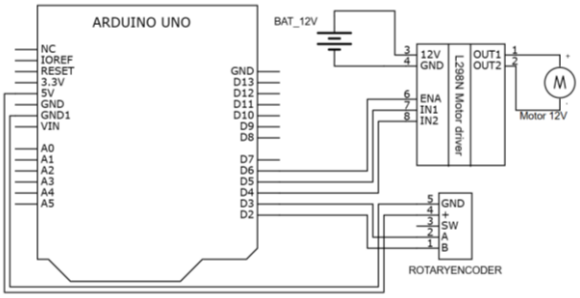
Редуктор (1:100):
- Хурдыг бууруулах (эсвэл хүчийг нэмэгдүүлэх) зориулалттай. 1:100 харьцаа нь моторын нэг эргэлтэд гаралт 100 дахин бага эргэлттэй байхыг илэрхийлнэ.

Эргэлтийн мэдрүүр:
- Тогтмол гүйдлийн моторын эргэлтийн хурдыг хэмжиж, одоогийн хурдыг микроконтроллер руу буцаан өгдөг. Энэ нь гэдрэг холбоотой системд ашиглагддаг.

Y (Гаралт):
- Системийн бодит гаралт бөгөөд тохируулсан хурдтай (Команд) харьцуулж, алдааг тооцоолно.

Тэжээлийн үүсгүүр:
- Мотор драйверыг 12V-н хүчдэлээр тэжээх бөгөөд туршилтад сургалтын тэжээлийн блок ашигласан болно.

Төхөөрөмжийн холболтын ерөнхий бүдүүвчийг 6-р зурагд үзүүлэв.

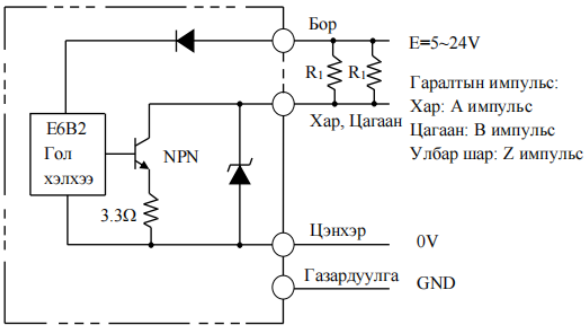


6-р зураг. Төхөөрөмжийн холболтын ерөнхий бүдүүвч

A. *Эргэлтийн мэдрүүр E6B2-CWZ6C:*

Энэхүү судалгааны ажилд E6B2-CWZ6C маркийн эргэлтийн мэдрүүр ашигласан. Энэ мэдрүүр 5V~24V-ын тогтмол хүчдэлд ажиллах бөгөөд хамгийн их гүйдэл нь 35mA байна. Энэ эргэлтийн мэдрүүр нь 600P/R буюу нэг бүтэн эргэхэд 600 импульс гарна. Нэг импульсэд харгалзах эргэлийн өнцөг нь 0.6º байна. Эргэлтийн хурдны дээд хязгаар нь 6000эргэлт/минут байна. Гаралтын 6 ширхэг утас байх бөгөөд өнгөөр ялгагдана. Бор - Тэжээлийн хүчдэл (+Vcc), хар - A импульсийн гаралт, Цагаан - B импульсийн гаралт, Улбар шар - Z импульсийн гаралт, Хөх - 0V, Мөнгөлөг – Газардуулга юм.

A болон B импульсийн фазын зөрүү нь T/4±T/8 буюу 90º±45º байна. Хэрэв эргэлтийн мэдрүүр цагийн зүүний дагуу эргэвэл A импульс түрүүлж өснө. Харин эргэлтийн мэдрүүр цагийн зүүний эсрэг чигт эргэж эхэлбэл B импульс түрүүлж өснө. Энэ шинж чанарыг нь ашиглан тогтмол гүйдлийн мотор аль чигт эргэж байгааг тогтооно.



7-р зураг. E6B2-CWZ6C эргэлтийн мэдрүүрийн бүдүүвч

Энкодер нь NPN задгай коллектортой төрлийн энкодер юм. Иймд тэжээлийн хүчдэл болон транзисторын коллектор хөл хооронд холбох эсэргүүцлийн хэмжээг тооцож гаргах ёстой.

$$\frac{E}{R_1 + 3.3\ \Omega} = 35\ \text{mA} \qquad (15)$$

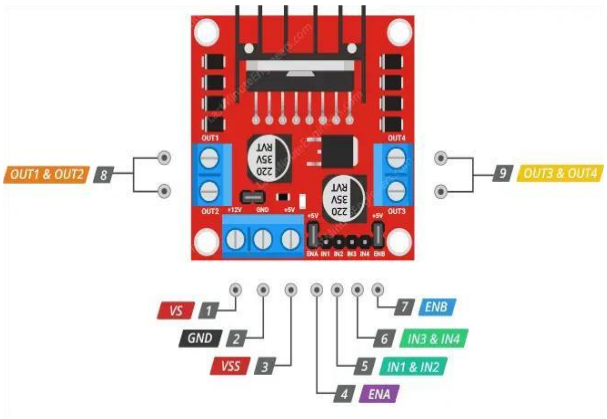
R_1 - Тэжээл коллектор хөл хоорондын эсэргүүцэл
R_2 - Эмиттер газар хоорондын эсэргүүцэл, $R_2 = 3.3\ \Omega$
E - Энкодерийн тэжээлийн хүчдэл, $E = 12$ V
Дээрх томьёонд хүчдэлийн утгыг орлуулан R_1 эсэргүүцлийн утгыг тооцоолбол ойролцоогоор 140 Ω болно. Энэ нь хамгийн бага утга бөгөөд тэжээл болон

коллектор хөл хооронд энэ эсэргүүцлийн утгаас өндөр эсэргүүцэл холбох хэрэгтэй.

B. Мотор драйвер L298N:

Энэ судалгааны ажилд L298N маркийн мотор драйвер ашиглах бөгөөд 6-р зурагд үзүүлэв. Энэ мотор драйвер нь өндөр чадалтай тогтмол гүйдлийн моторыг удирдахад зориулагдсан. N төрлийн оронгийн транзисторыг ашиглаж H-гүүр хэлхээг үүсгэсэн. Хос H-Bridge драйвер: 2 ширхэг DC мотор эсвэл нэг алхамт моторыг удирдах боломжтой.
Тэжээлийн хүчдэл: 5V-35V
Гаралтын гүйдэл: Нэг сувагт 2A (дээд гүйдэл: 3A) хүртэл даах чадвартай.
Логик хүчдэл: 5V логикт ажилладаг тул Arduino болон Raspberry Pi зэрэг төхөөрөмжүүдтэй нийцтэй.
Хамгаалалт: Цахилгаан хөдөлгөгч хүчээс хамгаалах диод, хэт халах үед зориулсан дулаан шингээгчтэй.
PWM хурдны удирдлага: Enable (ENA, ENB) пин ашиглан моторын хурдыг удирдах боломжтой.

- Оролтын хөлнүүд (IN1, IN2, IN3, IN4) - Моторын эргэлтийн чиглэлийг удирдана. IN1 ба IN2 нь Мотор А-г удирдана. IN3 ба IN4 нь Мотор В-г удирдана.
- Enable хөлнүүд (ENA, ENB) - PWM дохио ашиглан моторын хурдыг удирдана. (ENA нь Мотор А, ENB нь Мотор В).
- Тэжээлийн хөлнүүд – VS нь моторын тэжээлийн хүчдэл (5-35V), GND нь газардлага, VSS нь драйверын дотоод хүчдэл тогтворжуулагчийг ашиглаж байгаа тохиолдолд 5V логик хүчдэл гаргана.
- Моторын хөлнүүд (OUT1.OUT2,OUT3,OUT4)- Тогтмол гүйдлийн моторын хөлийг холбоно.



8-р зураг. L298N мотор драйверын гаралтын хөлнүүд

Мотор драйверын оролт гаралтын дохионы хамаарлыг 1-р хүснэгтэд үзүүлэв. PWM дохио LOW төвшинтэй байх үед моторын хоёр гаралт LOW төвшинд шилжих учир мотор зогсоно. Харин PWM дохио нь HIGH төвшинтэй байх үед моторын эргэх чиглэл нь IN1/IN2 дохионоос хамаарна.

МОТОР ДРАЙВЕРЫН ОРОЛТ, ГАРАЛТЫН ХАМААРАЛ

1-Р ХҮСНЭГТ

ENA/ENB (PWM)	IN1 (IN3)	IN2 (IN4)	OUT1 (OUT3)	OUT2 (OUT4)	Мотор төлөв
HIGH/PWM	HIGH	LOW	HIGH	LOW	Эргэнэ
HIGH/PWM	LOW	HIGH	LOW	HIGH	Эсрэг эргэнэ
LOW/PWM	X	X	LOW	LOW	Зогсоно

Ардуино УНО-ийн 6-р хөлийн PWM сигналын стандарт давтамж 490 Hz бөгөөд шаардлагатай бол үүнийг өсгөх боломжтой юм. Тогтмол гүйдлийн моторын PWM сигналын хамгийн тохиромжтой давтамж нь 1 KHz-ээс 20 KHz-ийн хооронд байх нь хамгийн сайн байдаг. Өндөр давтамж (жишээ нь 10-20 KHz)-тай ажиллахын ашиг нь моторын хурдыг илүү нарийн удирдах боломжийг олгодог бөгөөд энэ нь хурдны тохируулгын гүйцэтгэлийг сайжруулдаг. Мөн чичирхийллийг бууруулж, моторын дуу чимээний алдагдлыг багасгадаг. Харин бага давтамж (1-2 KHz)-тай ажиллахын ашиг нь ихэвчлэн жижиг моторууд болон бага хурдтай моторын удирдлагад ашиглагддаг бөгөөд хялбар удирдлага, эрчим хүчний хэрэгцээнд хэмнэлттэй байдаг.
Хамгийн тохиромжтой PWM давтамж:

- Бага хурдтай (30-500 rpm) тогтмол гүйдлийн моторууд: 1-5 KHz.
- Өндөр хурдтай (500 rpm болон түүнээс дээш) тогтмол гүйдлийн моторууд: 10-20 KHz.

C. Тогтмол гүйдлийн RS-385PH-2465 моторын параметр ба хамаарамж:

Энэ судалгааны ажилд Mabuchi Motor компанийн RS-385PH-2465 маркийн тогтмол гүйдлийн моторыг ашигласан. Энэ тогтмол гүйдлийн моторын редукторгүй буюу хурдны хайрцаггүй үеийн үзүүлэлтийг 2-р хүснэгтэд үзүүлэв.

ТОГТМОЛ ГҮЙДЛИЙН RS-385PH-2465 МОТОРЫН ҮЗҮҮЛЭЛТ

2-Р ХҮСНЭГТ

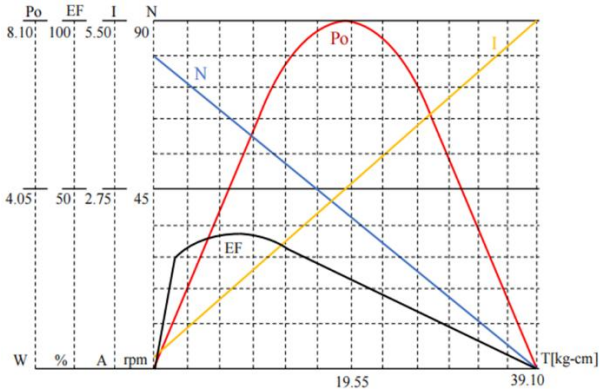
Хүчдэл		Ачаалалгүй үед		АҮК хамгийн өндөр үед			
6-24V	24V	Хурд	Гүйдэл	Хурд	Гүйдэл	Мушгих хүч	Чадал
		r/min	A	r/min	A	Nm	W
		20000	0.23	17240	1.44	13.9	25.1

Энэ моторын редуктортой буюу 1:100 харьцаатай хурдны хайрцагтай үеийн үзүүлэлтийг 3-р хүснэгтэд үзүүлэв. Редуктор нь орох эргэлтийн хурдыг бууруулж, гарах мушгих моментыг өсгөхөд зориулагдсан механик төхөөрөмж юм. Тогтмол гүйдлийн моторын гол нь редукторын орох голтой холбогдож, улмаар эргэлт редуктор доторх араануудаар дамжин тодорхой мушгих хүч болон эргэлтийн хурдыг гарах гол дээр өгдөг.

RS-385PH-2465 РЕДУКТОРТОЙ ТОГТМОЛ ГҮЙДЛИЙН МОТОРЫН ҮЗҮҮЛЭЛТ

3-Р ХҮСНЭГТ

Хүчдэл	Ачаалалгүй үед		АҮК хамгийн өндөр үед			
12V	Хурд	Гүйдэл	Хурд	Гүйдэл	Мушгих хүч	Чадал
	r/min	A	r/min	A	Nm	W
	81	0.2	64	1.3	0.81	5.4



9-р зураг. 1:100 редуктортой RS-385PH-2465 тогтмол гүйдлийн моторын хамаарамж

9-р зурагд RS-385PH-2465 тогтмол гүйдлийн моторын 1:100 редуктортой үеийн дөрвөн үзүүлэлтийг үзүүлэв. Энд: Po - чадал, EF - ашигт үйлийн коэффициент, I-гүйдэл, N-эргэлтийн хурд тус тус болно.

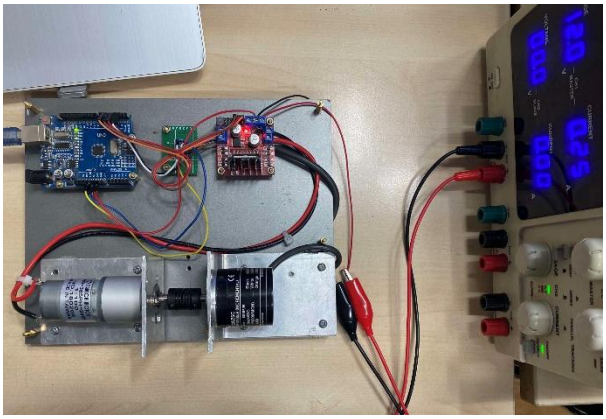
Хэвтээ тэнхлэг нь моторын мушгих моментыг илэрхийлнэ. Босоо тэнхлэг нь чадал, ашигт үйлийн коэффициент, гүйдэл, эргэлтийн тоо зэргийг тус тус илэрхийлнэ. Тогтмол гүйдлийн мотороор гүйх гүйдэл нь 2.7 А үед тогтмол гүйдлийн мотор нь хамгийн их чадалтай байна. Энэ үед нэг минутад эргэх эргэлтийн тоо нь ойролцоогоор 42 байна. Тогтмол гүйдлийн мотороор гүйх гүйдэл нь 0.2 А үед нэг минутад эргэх эргэлтийн тоо нь хамгийн их буюу 81 байна. Энэ үе тогтмол гүйдлийн моторт ачаалал өгөөгүй үе учир чадал нь маш бага байна. Тогтмол гүйдлийн мотороор гүйх гүйдэл нь 1.3 А үед ашигт үйлийн коэффициент хамгийн өндөр байх ба энэ үеийн моторын хурд 64 r/min, чадал нь 5.4 W байна.

Туршилтад ашиглах мотор болох RS-385PH-2465 тогтмол гүйдлийн моторын редуктортой үеийн үзүүлэлтийг 3-р хүснэгтэд харуулсан. Тухайн үзүүлэлтээс мэдэгдэж байсан болон тооцоолж олсон параметрүүд нь: V = 12 V, I_a = 1.3 A, R_a = 9.23 Ω, T_L = 0.81 Nm, K_t = 0.623 Nm/A, B_m = 0.121 $\mathrm{Nm \cdot rad/s}$ зэрэг болно.

Тогтмол гүйдлийн моторын математик загварчлалд шаардлагатай гол параметрүүдээс цахилгаан хөдөлгөгч хүчний тогтмол (K_b), инерцийн момент (J_m), якорийн ороомгийн индукцлэл (L_a) гэсэн параметрүүд дутуу, техникийн өгөгдлийн хуудсанд байхгүй байна. Ер нь эдгээр параметрүүд тухайн үйлдвэрийн бүтээгдэхүүний техникийн тодорхойлолтод энэ мэтээр бүрэн тодорхойлсон байдаггүй тул тухайн моторын математик загварыг туршилтын аргаар таньж мэдэх шаардлага гардаг.

IV. Туршилтын үр дүн

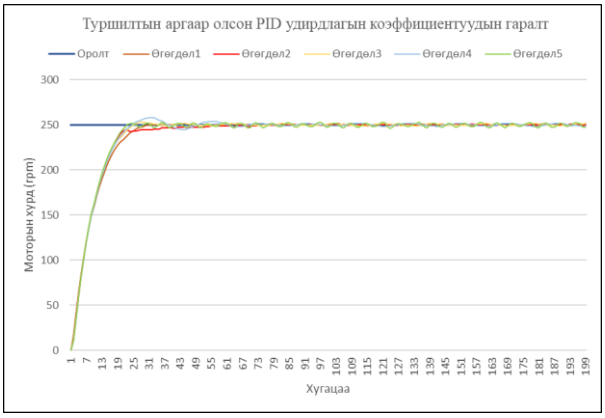
Тогтмол гүйдлийн моторын хурдны PID удирдлагын туршилтыг нэг мотор дээр 3 өөр хурдаар ажиллуулж туршсан. Туршилтын биет нь адилхан бөгөөд Arduino IDE программ дээр туршилтын ялгаатай байдал харагдана. Туршилтын биетийн ажиллаж байх үеийн явцыг 10-р зурагд үзүүлэв.



10-р зураг. Тогтмол гүйдлийн моторын туршилтын биетийн ажиллаж байх явц

A. Тогтмол нэг хурдны удирдлагын туршилт

Моторыг тогтмол 250 rpm хурдтайгаар 5 нь удаа ажиллуулсан бөгөөд PID удирдлагын коэффициентуудын өөр өөр утгыг ашигласан. Туршилтын аргаар олсон PID удирдлагын коэффициентуудын жагсаалтыг 4-р хүснэгтэд үзүүлэв. Удирдлагын коэффициент бүрийн хариу үйлдлийг ажиглаж, гүйцэтгэлийг үнэлэх зорилгоор шинжилсэн бөгөөд 9-р зурагд харуулсан. Мөн туршилт болон алдааны аргаар олж авсан удирдлагын коэффициентуудын дэлгэрэнгүй гүйцэтгэлийг 5-р хүснэгтэд үзүүлэв [10]. Цэнхэр өнгөөр тохируулсан хурдыг харуулж байгаа бол улаан өнгөөр моторын туршилтын үеийн хэмжигдсэн хурдыг харуулсан. Энэхүү туршилт нь 40 секунд ажиллаад зогсохоор программчлагдсан.



11-р зураг. Моторыг 250 rpm хурдтайгаар удирдсан үр дүн

ТУРШИЛТЫН АРГААР ОЛСОН PID УДИРДЛАГЫН КОЭФФИЦИЕНТУУД

4-Р ХҮСНЭГТ

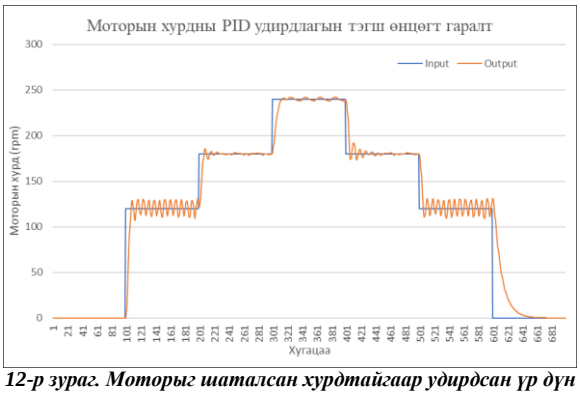
№	Тохируулсан хурд (rpm)	Ажиллах хугацаа (s)	K_p	K_i	K_d
1	250	40	0.6	0.0009	0.001
2	250	40	0.9	0.0004	0.002
3	250	40	0.3	0.0008	0.001
4	250	40	0.1	0.0006	0.001
5	250	40	1	0.008	0.003

ТУРШИЛТААР PID КОЭФФИЦИЕНТЫН ТОХИРГОО ХИЙСЭН СИСТЕМИЙН ГҮЙЦЭТГЭЛИЙН ҮР ДҮН

5-Р ХҮСНЭГТ

№	Тохируулалт	Өсөх хугацаа , s	Хэт давалт, %	Тогтворжих хугацаа, s	Тогтворжсон төлөвийн зөрүү, %
1	Өгөгдөл 1	0.73	0.35	2.39	0
2	Өгөгдөл 2	0.78	0.176	4.49	0
3	Өгөгдөл 3	0.65	0.6	1.32	0
4	Өгөгдөл 4	0.69	3.01	1.14	0
5	Өгөгдөл 5	0.69	0.94	1.21	0
	Дундаж	**0.708**	**1.015**	**2.11**	**0**

Системийн гүйцэтгэлийн үр дүнгээс үзэхэд, өгөгдөл 1 нь бусад өгөгдлөөс илүү тогтвортой ажиллагаатай байсан ба туршилтын арга нь тогтмол гүйдлийн моторын хурдыг тогтвортой удирдах боломжтой гэдэг нь харагдаж байна. Таван удаагийн туршилтын дунджаар тогтворжсон төлөвийн зөрүү, өсөх хугацаа, тогтворжих хугацаа, хэт давалт нь дараах байдлаар гарсан: 0, 0.708 секунд, 2.11 секунд, 1.015. Тогтворжсон төлөвийн зөрүү нь PID удирдлагын систем нь интеграл (I) хэсгийн тусламжтайгаар бүрэн арилдаг. Интеграл хэсэг нь бүх төрлийн алдааг цуглуулж, хариу үйлдлийг зөв тохируулж, төгс зохицуулалт үүсгэснээр системийн гаралт ороллтой зөв тохирч, тогтворжсон төлөвийн зөрүү 0 болдог. Тогтворжих хугацаа болон өсөх хугацаа нь бага зэрэг их байсан ба өгөгдөл 4-ийн хэт давалт нь хүлээн зөвшөөрөгдөхгүй байв. Эдгээрийг MATLAB PID Tuner ашиглан PID коэффициентуудыг нарийн тааруулж засах боломжтой.



12-р зураг. Моторыг шаталсан хурдтайгаар удирдсан үр дүн

В. Шаталсан хурдны удирдлагын туршилт

Туршилтад тогтмол гүйдлийн моторыг 120, 180, 240 rpms гэсэн хурдаар ажиллуулан 0, 120, 180, 240, 180, 120, 0 гэсэн дараалалтайгаар үе болгонд мотор 5 секунд ажиллаад зогсохоор туршилтыг хийсэн. Туршилтад PID удирдлагын коэффициентууд нь $K_p = 0.355, K_i = 0.0008, K_d = 0.002$ гэж гараар тохируулан ажиллуулсан. Үр дүнг 10-р зурагд үзүүлэв. Цэнхэр өнгөөр тохируулсан хурдыг харуулж байгаа бол улаан өнгөөр моторын туршилтын үеийн хэмжигдсэн хурдыг харуулсан.

12-р зураг дээрх туршилтын гаралтын үр дүнгээс үзэхэд 120 rpm хурдтай үед хэт хэлбэлзэлтэй, тогтвортой биш байгаа бол 180 rpm хурдтай үед тогтворжих хугацаа нь удаан байсан ч цаашид тогтвортой ажилласан нь харагдаж байна. Харин 240 rpm хурдтай үед мотор тогтвортой ажиллаж байгаа ч гүйцэтгэл муутай, тогтворжсон төлөвийн зөрүү их байгаа юм. Бага хурдтай ажиллах үед хэлбэлзэлтэй байгаа нь моторт, мотор драйвераас ирж байгаа хүчдэлтэй холбоотой юм. Мотор драйвер нь PID удирдлагын тусламжтайгаар моторыг тохируулсан хурдад хүрч ажиллах хүчдэлийг өгдөг.

С. Синус функцийн хэлбэртэй хурдны удирдлагын туршилт

Туршилтад тогтмол гүйдлийн моторыг 200 rpm-тай 5 секунд ажиллуулаад дараагаар нь 150-аас 250 rpm хүртэл синус функцийн хэлбэртэйгээр хурдын өөрчлөн ажиллуулсан. Туршилтад PID удирдлагын коэффициентууд нь $K_p = 0.458, K_i = 0.0007, K_d = 0.015$ гэж гараар тохируулан ажиллуулсан. Туршилтын үр дүнг 11-р зурагд үзүүлэв. Цэнхэр өнгөөр тохируулсан хурдыг харуулж байгаа бол улаан өнгөөр моторын туршилтын үеийн хэмжигдсэн хурдыг харуулсан.

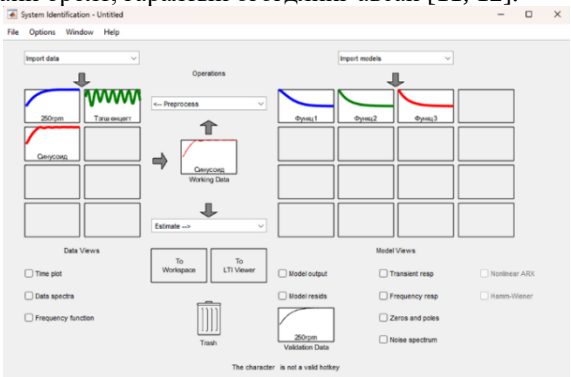
13-р зураг. Моторыг синус функцийн хурдтайгаар удирдсан үр дүн

13-р зураг дээрх туршилтын үр дүнгээс үзэхэд тогтмол хурдтай ажиллаж байгаад моторын хурд синус функцийн хэлбэртэй болсон ба энэ үед тохируулсан хурдыг даган тогтвортой ажиллаж байсан. Энд моторын хурдаас шалтгаалан хурд ихсэхэд тогтворжиж, 150 rpm хурдтай болох үед тогтвортой биш ажиллаж байгаа нь харагдаж байна. Энэ өмнөх туршилттай адил мотор драйвераас ирэх хүчдэлтэй холбоотой юм.

V. Моторын математик загварыг туршилтын өгөгдлөөс гарган авах симуляцийн үр дүн

А. Бодит туршилтын өгөгдлийг ашиглан моторын математик загварыг таних

Системийг таних программыг тогтмол гүйдлийн моторын математик загварыг танихын тулд ашигласан бөгөөд моторын тохируулсан хурд болон хэмжигдсэн хурдыг харьцуулсан өгөгдөл хэрэгтэй юм. Иймд, тогтмол нэг хурдны удирдлагын туршилт дээрээс загварчлахыг хүсэж буй моторын хамгийн сайн оролт, гаралтын өгөгдлийг авсан [11, 12].



14-р зураг. System Identification Toolbox-д өгөгдлүүдийг оруулсан байдал

Энэхүү өгөгдлийг программ нь өөр дээрх функцээр тооцоолон моторын дамжууллын функцийг загварчилж өгсөн. Моторын өгөгдөл маш бага зөрүүтэй байхын бол илүү нарийвчлалтай дамжууллын функцийг загварчилж болно. 12-р зурагд моторын өгөгдлүүдийг системд оруулж дамжуулалтын функцийг тодорхойлсныг харуулсан байна. 14-р зурагд 3 өөр өгөгдөл оруулсан бөгөөд цэнхэр өнгөөр 250 rpm хурдтай ажилласан туршилтын өгөгдлийг, ногоон өнгөөр өөр өөр хурдаар шатлалтай ажилласан туршилтын өгөгдлийг, улаан өнгөөр синусоид хэлбэртэй ажилласан туршилтын өгөгдлийг тус тус оруулсан. Тус бүрд нь дамжууллын функцийн загварчилж гаргасан ба дамжууллын функцийн тэг болон туйлын ижилхнээр өгсөн. Эхний өгөгдлийн дамжууллын функцийг 15-р зурагд үзүүлсэн.

```
  From input "u1" to output "y1":
    0.09573 s + 0.02032
  ------------------------
  s^2 + 0.2572 s + 0.02032
Name: Функц1
Continuous-time identified transfer function.

Parameterization:
   Number of poles: 2   Number of zeros: 1
   Number of free coefficients: 4
```

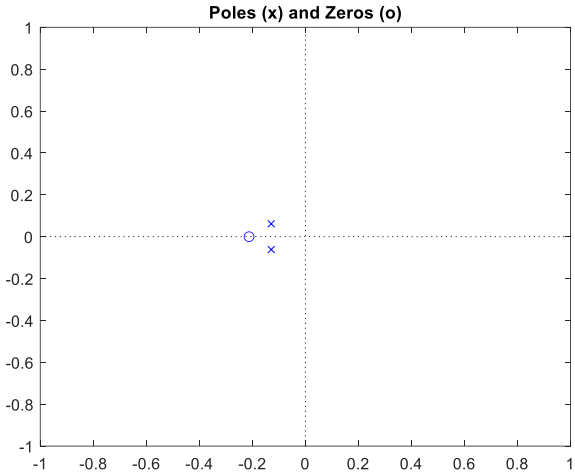
Diary and Notes

```
% Details about Estimation Data
 % Import   250rpm

% Transfer function estimation
 Options = tfestOptions;
 Options.Display = 'on';
 Options.EnforceStability = true;

 tf1 = tfest(250rpm, 2, 1, Options)

 Дамжууллын функц1 = tf1  % Rename
 Функц1 = Дамжууллын функц1  % Rename
```

15-р зураг. Эхний өгөгдлийг танин загварчилсан дамжууллын функц

$$G(s) = \frac{0.09573s + 0.02032}{s^2 + 0.2572s + 0.02032} \quad (16)$$

Системийг таних программаар оролт, гаралтын өгөгдлийг боловсруулсны дараа системийн хамгийн сайн тохируулалт 95.56% гэж тодорхойлогдсон байна [13, 14].



16-р зураг. Системийн туйл болон тэгийн байрлал

16-р зурагд задгай удирдлагын системээс гарсан туйл болон тэгийг үзүүлэв. 1 тэг ба 2 туйл байна. Зурагт харуулсан хариу үйлдлээс үзэхэд, тэг болон туйл нь бодит тэнхлэгийн зүүн талд байрлаж байгаа нь систем тогтвортой байгааг илэрхийлж байна. Систем тогтвортой байхын тулд тэгүүд болон туйлуудын аль аль нь бодит тэнхлэгийн зүүн талд байх шаардлагатай.

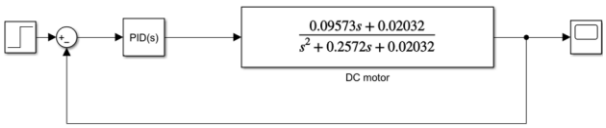
Эхний өгөгдөл дээрх дундаж квадрат алдааг 17-р зурагд харуулав. MSE=0.6345 бөгөөд энэ утга нь 0.1-1 хооронд байвал хангалттай сайн тохирсон гэж үздэг.

```
Parameterization:
   Number of poles: 2   Number of zeros: 1
   Number of free coefficients: 4
   Use "tfdata", "getpvec", "getcov" for parameters and their uncertainties.

Status:
Estimated using TFEST on time domain data "250rpm".
Fit to estimation data: 95.96% (stability enforced)
FPE: 0.6441, MSE: 0.6345
```

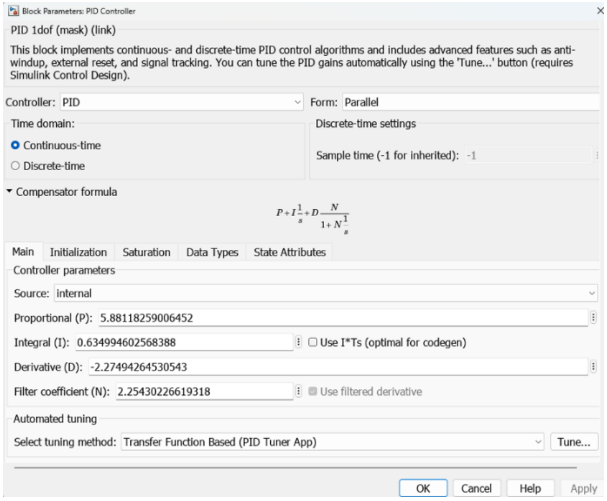
17-р зураг. Моторын математик загварыг таньсан дундаж квадрат алдаа

В. Таньсан моторын математик загварын PID удирдлагын коэффициентын тохируулга

Туршилтын өгөгдлөөс системийг таних программын тодорхойлж өгсөн дамжууллын функц (16)-г ашиглан симуляц хийж PID удирдлагын коэффициентуудыг тохируулсан. 16-р зурагд дамжууллын функцийг орлуулан Matlab/Simulink программ дээр симуляц хийв [15-17].

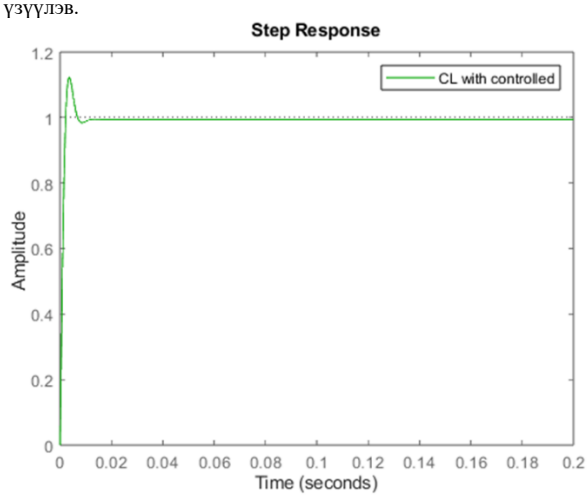


18-р зураг. Системийн тодорхойлсон дамжууллын функцийг орлуулсан симуляц



19-р зураг. Автоматаар тохируулсан PID удирдлагын коэффициентууд

$K_p = 5.8811, K_i = 0.6349, K_d = 2.2749$ PID удирдлагын коэффициентүүдийн утгууд ийм байв. 18-р зурагд автоматаар тохируулсан PID удирдлагын коэффициентуудын гаралтыг үзүүлэв.



20-р зураг. Автоматаар тохируулсан PID удирдлагын коэффициентууд

Системийг таних программ ашиглан моторын дамжууллын функцийг тодорхойлж, түүний үндсэн дээр PID удирдлагыг тохируулах нь системийг оновчтой загварчлахад чухал юм.

VI. Дүгнэлт

Энэхүү судалгаагаар тогтмол гүйдлийн моторын математик загварыг тодорхойлж, оновчтой удирдлагын систем боловсруулан, математик загвард үндэслэн симуляцийн загварчлал, туршилт хийн моторын удирдлагыг боловсруулсан. Тогтмол гүйдлийн моторыг удирдах туршилтын биетийг угсарч, PID удирдлагын туршилт хийн коэффициентуудыг гараар тохируулж моторын тохируулсан хурд болон хэмжигдсэн хурдыг өгөгдөл болгон хадгалж авсан. Тогтмол өндөр хурдтай ажиллуулахад моторын хурд 2 секундэд тогтвортой болж, цаашид маш сайн тогтвортой ажилласан. Энд PID удирдлагын коэффициентуудыг сайн утгад тохируулж, мөн нэмэлтээр эргэлтийн мэдрүүрийн хэмжиж байгаа хурдны хэлбэлзэлд шүүлтүүр ашиглан хэлбэлзлийг бууруулж илүү найдвартай ажиллагаатай болсон. Харин моторын хурдыг өөрчлөн өөр өөр хурданд шатлалтай ажиллуулахад тогтвортой бус, нэлээн хэлбэлзэл үүсэж байсан бөгөөд PID коэффициентуудыг гараар тохируулан ажиллуулахад моторын хурд тогтвортой болохгүй нэлээн төвөгтэй байсан. Моторын тогтмол өндөр хурдтай ажиллуулсан өгөгдлийг ашиглан Системийг таних программд оруулж тохируулан моторын математик загварыг тодорхойлж чадсан. Тухайн математик загвар нь өгөгдсөн моторын өгөгдөлтэй 95.96%-ийн тохирсон. Цаашид энэ хувийг илүү өсгөхийн тулд моторын өгөгдлийг сайжруулах (шуугианыг арилгах. PID коэффициентуудыг нарийвчлалтай олох), хэт их болон хэт бага өгөгдөл ашиглахгүй байх гэх мэт боломжуудыг ашиглах хэрэгтэй. Үүний дараа бид моторын математик загварыг ашиглан автоматаар PID удирдлагын коэффициентуудыг тохируулж тэр утгаараа дахин тогтмол гүйдлийн моторын PID удирдлагын туршилт хийж гарсан үр дүнг нь Зураг 4.4-д үзүүлсэн бөгөөд графикаас харахад моторын хурд тогтвортой бус байсан. Энэ нь MATLAB/Simulink дээр хийсэн симуляцаас өөр байсан юм. Коэффициентуудын утгуудыг цаашид сайжруулах боломжтой бөгөөд гараар бага зэрэг өөрчилж туршилт хийж болох юм. Цаашид энэ загварын илүү хөгжүүлэх боломж нь мотороос авч буй өгөгдлийг чанартай болгох, туршилтын биетийн элементүүдийг илүү өндөр хурдтай ажилладаг элементээр сольж мэдээлэл дамжуулах чадамжийн ихэсгэх, хийгдсэн симуляц, туршилтын үр дүнд тулгуурлан моторыг нарийвчлалтай удирдах зэрэг боломжуудтай байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] Lucas Niro, "Construction of an Instrumentation Kit for Identification and Control of DC Motors," Advanced Engineering Research and Science (IJAERS), vol. 4, no. 12, 2017.

[2] Dodi Saputra, "Design and Application of PLC-based Speed Control for DC Motor Using PID with Identification System and MATLAB Tuner," Robotics and Control Systems, vol. 3, no. 2, pp. 233-244, 2023.

[3] SAFFET AYASUN, "DC Motor Speed Control Methods Using MATLAB/Simulink and Their Integration into Undergraduate Electric Machinery Courses," Turkey, 2007.

[4] О.Балжинням, Б.Энх-Амгалан "МАТЛАБ/СИМУЛИНК програм ашигласан тогтмол гүйдлийн моторын хурдны PID удирдлага," Шинэ Монгол Технологийн Дээд Сургууль, Улаанбаатар хот, 2021.

[5] Salah, "PARAMETERS IDENTIFICATION OF A PERMANENT MAGNET DC MOTOR," 2009.

[6] B.Supriyo, "Modelling and Control of DC Motor Speed and Position for Wheel Mobile Robot Application," in Proceedings of the International Conference , Semarang, Indonesia, 2020.

[7] L. Zaccarian, "DC motors: dynamic model and control techniques," 2019.

[8] Natthapon Donjaroennon, "Mathematical model construction of DC Motor by closed-loop system Identification technique Using Matlab/Simulink," Thailand, 2021.

[9] Yavuz Bahadur Koca, "Speed Control Based PID Configuration of a DC Motor for An Unmanned Agricultural Vehicle," in Electrical and Electronics Engineering, Turkey, 2021.

[10] Bolat E D, "Expiremental Autotuning PID control of Temperature using Microcontroller," 2005.

[11] Nafrizuan Mat Yahya, "System Identification for a Mathematical Model of DC Motor System," Malaysia, 2022.

[12] Wei-Jie Tang, "DC Motor Speed Control Based on System Identification and PID Auto Tuning," China, 2017.

[13] Muhammad Akmal Zaiton, "System Identification and Control of Direct Current Motor," Malaysia, 2022.

[14] Nattachai Pothi, "System Identification and Control of DC Motor with PID Controller," Thailand, 2023.

[15] Ang KH, "PID control system analysis, design, and technology," in IEE Transactions on Control Systems Technology, China, 2005.

[16] T.Hagglund, "PID controllers: Theory, Design, and tuning," 2019.

[17] ÇINAR Said Mahmut, "Performing Speed Control of a DC Motor with Auto-Tuning PID," 2019.

ЭРҮҮЛ МЭНДИЙН САЛБАР ДАХЬ ТЕЛЕМЕДИЦИНИЙ ӨНӨӨГИЙН БАЙДАЛ

Батсүхийн БАДАМГАРАВ[1*], Мягмаржавын БУМБАТ[2*]
Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Цахилгаан техникийн салбар
**Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: Badamgarawb4@gmail.com, boka.bumbat@must.edu.mn*

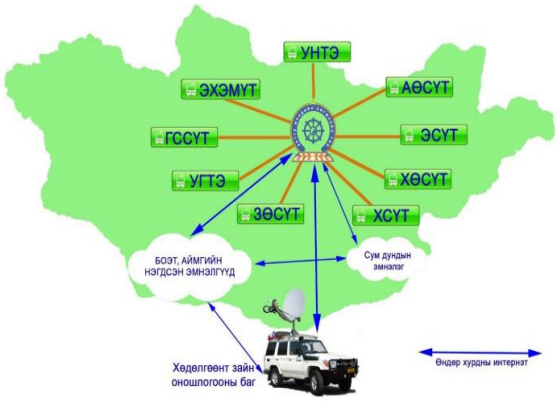
***Хураангуй*: Био-Анагаахын мэдээлэл зүй хурдацтай хөгжиж байгаагийн хэрээр эрүүл мэндийн салбарт "Зайн оношилгоо буюу Телемедицин" нь маш том дэвшилтийг авчирч байна. Телемедицинийг ашиглан эрүүл мэндийн тусламж үйлчилгээний хүртээмжийг сайжруулах, ялангуяа хөдөө орон нутагт эмнэлгийн тусламж үзүүлэх, видео хурал зэргийг технологийн тусламжтайгаар ашигласнаар хол зам туулах шаардлагагүйгээр газарзүйн байршлаас үл хамааран хүмүүс цаг тухайд нь тусламж үйлчилгээ авах боломжтой. Монгол улсын өргөн уудам газар нутаг, хүн амын нягтаршлаас үүдэн хөдөө орон нутагт эмнэлгийн тусламж үйлчилгээний хүртээмж нь бага байдаг. Интернэт сүлжээ нь мэдээлэл дамжуулах, солилцох үнэгүй бодит цагийн хэрэгсэл юм.**

Түлхүүр үг: Телемедицин, Теле-сургалт, Телемедицинийн технологи, Зайнаас хянах

I. УДИРТГАЛ

Telemedicine нь Tele-алс хол, medicine-анагаах ухаан гэсэн грек үгнээс гаралтай. Алсын анагаах ухаан нь харилцаа холбоо болон мэдээллийн технологи ашиглан эрүүл мэндийн тусламж үйлчилгээ үзүүлэхэд оршино.

Телемедицин буюу зайн оношилгоо нь төвөөс алслагдсан бүс нутаг болон улс хооронд мэдээлэл харилцаа холбоо, технологийн тусламжтайгаар алсын зайнаас эмнэлгийн тусламж авч, өвчин эмгэгийг оношлох, эмчлэх, урьдчилан сэргийлэхэд зориулагдсан үйлчилгээ юм. Телемедициний үйлчилгээ нь эрх тэгш, хүртээмжтэй, хэрэгцээнд нийцсэн, мэргэжлийн тусламж үйлчилгээнд суурилсан байх ёстой. Телемедициний хэрэглээний үр нөлөө, боломжийн талаар судалснаар өвчтөн болон эрүүл мэндийн тогтолцоонд ашиг тустай нотолгоонд суурилан практикт хөгжүүлэх боломжтой.



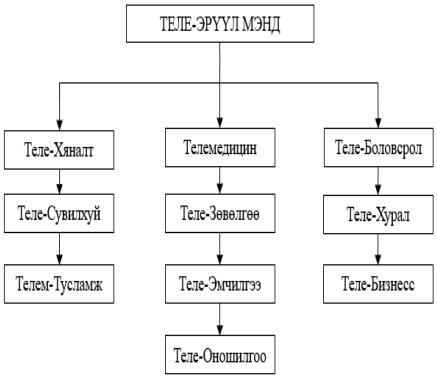
1-р зураг. Телемедициний үндэсний сүлжээний бүтэц

"Телемедициний үндэсний сүлжээ" гэж нэгдсэн удирдлага, зохицуулалт бүхий телемедициний үйлчилгээ үзүүлэгч байгууллагуудын нэгдлийг хэлнэ.

II. ОНОЛЫН ХЭСЭГ

Монгол улсын хувьд газарзүйн онцлог болон хүн амын нягтаршил харилцан адилгүй байдаг бөгөөд 2023 оны эцэс гэхэд Монгол Улсын хүн ам 3 сая 481.1 мянга буюу 1.3 хувиар нэмэгдэж, нийт хүн амын 67.2 хувь нь хот суурин газар, үлдсэн 32.8 хувь нь хөдөө амьдарч байна. Үүнээс харахад телемедицин нь манай улсын хүрээнд маш зохимжтой байна.

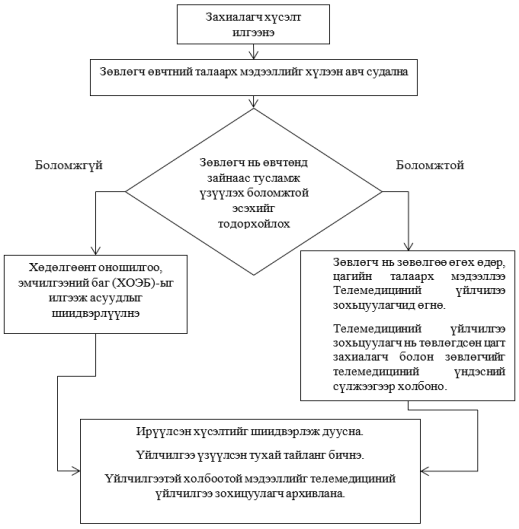
Телемедицин нь хот болон алслагдсан орон нутгийн эмнэлгүүдтэй мэдээлэл технологийн ололтыг ашиглан холбогдож, өвчтөн үйлчлүүлэгчдэд оношилгоо эмчилгээний зөвлөгөө өгнө.



2-р зураг. Телемедицин системийн хамрах хүрээ

Телемедицин нь Синхрон буюу Идэвхтэй (онлайн), Асинхрон буюу Идэвхгүй (офлайн) гэсэн хоёр төрөл байдаг. Эхнийх нь "синхрон телемедицин" гэгддэг бодит цагийн аудио-видео харилцааг хэлдэг. Өвчтөн зөөврийн компьютер, таблет эсвэл ширээний компьютертой, камертай ухаалаг утастай байхад л болно. Хоёрдох нь асинхрон буюу "Өгөгдлийг-хадгалаад-дамжуулах" харилцаа гэж нэрлэдэг. Энэ тохиолдолд харилцаа нь бодит цаг хугацаанд явагддаггүй бөгөөд и-мэйл шиг хоорондоо харилцдаг байна.

1. Идэвхтэй сүлжээний (онлайн) үйлчилгээний горим



Схем 1. Идэвхтэй горим

- Видео дуудлага – Өвчтөн болон эмч нар хоорондоо бодит цагийн дүрст харилцаа тогтоож, оношилгоо, эмчилгээний зөвлөгөө өгнө.
- Шууд чат – Телемедициний систем доторх шууд бичвэрийн харилцаа.
- Телемэдикал оношилгоо – Өвчтөний мэдээллийг шууд дамжуулж, онош тавих.

2. Идэвхгүй сүлжээний (офлайн) үйлчилгээний горим

Схем 2. Идэвхгүй горим

- И-мэйл болон мессеж – Өвчтөний мэдээлэл, шинжилгээний дүнг эмч рүү илгээж, хожим хариу авах.
- Эмнэлгийн мэдээллийн систем – DICOM болон PACS системээр дамжуулан эмнэлгийн дүрслэл, оношилгооны үр дүнг хадгалж, шаардлагатай үед хуваалцах.
- Теле-оношилгоо – Рентген, MRI, лабораторийн шинжилгээг цахимаар дамжуулж, мэргэжилтнүүд үнэлгээ хийх.

А. Телемедициний үндсэн ойлголтууд нь:

Алсын зайн зөвлөгөө: Өвчтөнүүд эрүүл мэндийн тусламж үйлчилгээ үзүүлэгчидтэй видео дуудлага эсвэл утсаар холбогдож эмнэлгийн зөвлөгөө, оношилгоо, эмчилгээ авах боломжтой.

Алсын хяналт: Эрүүл мэндийн тусламж үйлчилгээ үзүүлэгчид зүүдэг төхөөрөмж ашиглан өвчтөний амин чухал шинж тэмдэг болон бусад эрүүл мэндийн мэдээллийг алсаас хянах боломжтой.

Цахим эрүүл мэндийн бүртгэл: Телемедицин нь ихэвчлэн эрүүл мэндийн үйлчилгээ үзүүлэгч болон өвчтөний хооронд эмнэлгийн бүртгэл, шинжилгээний үр дүн болон бусад эрүүл мэндийн мэдээллийг цахим хэлбэрээр дамжуулдаг.

Телемедициний платформууд: Эдгээр нь эрүүл мэндийн тусламж үйлчилгээ үзүүлэгчид болон өвчтөнүүдийн хооронд телемедициний зөвлөгөө өгөх, харилцаа холбоо тогтооход туслах программ хангамжийн программууд эсвэл онлайн платформууд юм.

В. Телемедициний давуу болон сул талууд

Давуу тал нь:

- Хамгийн их хүртээмжтэй байдлыг хангаж өгдөг.
- Дижиталжуулалт нь эрүүл мэндийн салбарын нэг хэсэг юм.
- Цаг хугацаа, мөнгө санхүү хэмнэх боломжтой.
- Эрүүл мэндийн үйлчилгээний хүртээмжийг нэмэгдүүлж, алслагдсан бүс нутгийн хүмүүст боломж бүрдүүлдэг.

Сул тал нь:

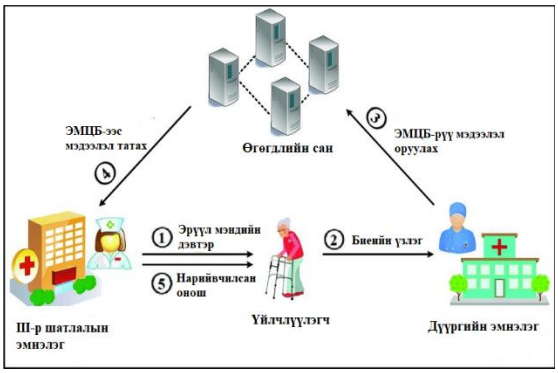
- Зайнаас оношлогдохгүй өвчин эмгэг.
- Бүх үйлчлүүлэгч мэргэжлийн хүмүүс энэ технологийн хэрэглээг мэддэггүй.
- Мэдээллийн аюулгүй байдал, нууцлалын асуудал үүсэж болзошгүй.
- Интернэт, техник хэрэгслээс хамааралтай хэрэглэгчийн ур чадвар, дасан зохицох

С. Телемедициний үндэсний сүлжээ

Монгол Улсын Засгийн газрын 2012 оны 120 дугаар тогтоолоор баталсан 2012-2016 оны үйл ажиллагааны хөтөлбөрийн 176 дахь заалт, Цахим эрүүл мэнд стратегийн хэрэгжилтийг хангах зорилгоор “Эрүүл мэндийн тухай” хуулийн 4.2.1.Цахим эрүүл мэндийн стратеги, Эрүүл мэндийн сайдын “Мэдээллийн нууцлал аюулгүй байдлын журам батлах тухай” 2009 оны 357дугаар тушаал, “Эрүүл мэндийн технологийн нэгдсэн бодлого батлах тухай” 2013 оны 176 дугаар тушаалыг тус тус үндэслэн боловсруулж, ЭМС-ын 2013 оны 9 дүгээр сарын 11-ий өдрийн 330 тоот тушаалаар “Телемедициний үндэсний сүлжээний ажиллах журам”-ийг баталсан. Телемедициний үндэсний сүлжээнд холбогдсон эрүүл мэндийн байгууллагууд мэдээлэл, харилцаа холбооны технологийн тусламжтайгаар төрөлжсөн мэргэжлийн зөвлөгөө

өгөх, оношилгоо, зайн сургалт, цахим мэдээлэл цуглуулах үйлчилгээг тус тус үзүүлдэг.

Мэдээлэл харилцаа холбооны салбарыг хөгжүүлэх талаар төр засгийн бодлого, үзэл баримтлал, хөтөлбөр, баримт бичиг боловсруулан, шат дараалсан арга хэмжээ авч хэрэгжүүлж байгаа нь эрүүл мэндийн салбарын хөгжилд их хэмжээний хөшүүрэг болж байна.



3-р зураг. Телемедициний систем дэх үйлчилгээний явц

III. Судлагдсан байдал

УНТЭ, УХТЭ, ТТАХЭ, Монгол японы хамтарсан эмнэлэг, Брилиант эмнэлгүүдийн телемедициний үйл ажиллагааны өнөөгийн байдлыг асуумж материал бэлтгэн, эмнэлэгт суурилсан агшныг загвараар тухайн (хэсэгчилсэн) судалгааны арга зүй ашиглан нэгтгэсэн.

Монгол улсад дахь телемедицин

1-р хүснэгт

Байгууллага	Үйл ажиллагааны чиглэл
УНТЭ	Сургалт, семинар, хурал, туршлага солилцох, оношилгоо, эмчилгээ (тогтмол бус)
УХТЭ	Хамтарсан оношилгоо, мэдээлэл солилцоо, утсаар зөвлөгөө өгөх, хурал зохион байгуулах. (тогтмол бус)
ТТАХЭ	Хилийн бүс дэх төрийн албан хаагчдад тусламж, зөвлөгөө, 14 хоног тутам сургалт
Бриллиант эмнэлэг	Үйлчлүүлэгчдийг Солонгосын эмнэлгүүдтэй холбож оношилгоо, эмчилгээ хийх
Монгол-Японы эмнэлэг	Мэс заслын дурангийн хагалгаанд ашигласан (2 удаа), олон улсын сургалт, семинар, зөвлөгөөнд ашиглах

Монгол улсад телемедициний өнөөгийн байдлын судалгаа авсан 5 эмнэлгийн 99% нь теле-хурал, теле-сургалт чиглэлээр телемедицинийг ашиглаж байгаа бөгөөд эдгээр эмнэлгүүдээс Бриллиант эмнэлэг нь БНСУ-ын эмнэлэгтэй хамтран байнгын үйл ажиллагаа үзүүлж байна

Монгол улсад дахь DICOM, PACS систем

2-р хүснэгт

№	Байгууллага	УНТЭ	УХТЭ	УГТЭ	Сонгодо	Гурван гал
1	PACS-г ашигладаг эсэх	+	+	+	+	+
2	DICOM-г ашигладаг эсэх	+	+	+	-	+
3	Дотоод сүлжээнд холбогдсон эсэх	+	+	+	+	+
4	Дотоод сүлжээгээр зурган мэдээлэл дамжуулдаг эсэх	+	+	+	+	-
5	Дотоод сүлжээгээр зурган мэдээлэл дамжуулахад программ хангамж хэрэглэдэг эсэх	+	+	-	+	-

Тайлбар: +байгаа, - Байхгүй

Судалгаанд улсын төв эмнэлэг 3, хувийн эмнэлэг 2 хамрагдсан болно. Судалгаанаас харахад дүрслэл оношилгооны тоног төхөөрөмжийн зурган мэдээллийг дамжуулахад зургийн чанарт өөрчлөлт орж , оношны зөрүү гарахгүй гэх баталгаа байхгүй байна.

A. *Монгол улсад дахь телемедициний төсөл хэрэгжилт.*

2022 оны 4 сард Япон улсын ЖАЙКА Олон улсын байгууллагын зүгээс АШУҮИС-ийн Монгол-Японы эмнэлэгт Телемедициний тоног төхөөрөмж болох 55 инч зурагт, орчны чимээ тусгаарлагчтай микрофон, нягтаршил сайтай камерыг өгсөн. Тус оны 12 сард телемедициний тусгай зориулалтын өрөөтэй болсон. Монгол-Япон Эмнэлэг Азийн Телемедициний хөгжлийн төвтэй хамтран 2022.09.15-ний өдөр "Ходоодны эрт үеийн хавдрын илрүүлэлт" сэдвээр Япон улсын дуран болон мэс заслын эмч нарын хамтын оролцоотой LECS техникийн талаарх сонирхолтой лекц, хэлэлцүүлэг бүхий олон улсын Webinar хурлыг амжилттай зохион байгуулсан. Телемедицинийг ашиглан мэс заслын дурангийн хагалгаанд 2 удаа мөн олон улсын сургалт, семинар зөвлөгөөнд түлхүү ашигладаг.

4-р зураг. Монгол-Японы эмнэлгийн телемедициний өрөө

Эх нярайн эрүүл мэндийн зайн оношилгоонд дэмжлэг үзүүлэх төслөөр телемедициний үйлчилгээг 2007-2019 он хүртэл үе шаттайгаар төлөвлөн хэрэгжүүлж ажилласан байдаг. Төслөөр нийт 7,1 сая ам.доллар төсөвлөж үүнээс 4,3 сая ам.долларыг

шинэ тоног төхөөрөмж, 692 мянган ам.долларыг техникийн тусламж, 1.66 сая.ам долларыг ажилтан мэргэжилтнүүдийн чадавхыг дээшлүүлэхэд, 450 мянган ам.долларыг хяналт шинжилгээ үнэлгээнд төсөвлөн хэрэгжүүлсэн байна.

ЭХЭМҮТ-ийн телемедициний хурлын өрөөнд ашиглагддаг төхөөрөмжүүд:

- Компьютер
- Дэлгэц 42 инч
- хурлын видео тоног төхөөрөмжүүд (зөөврийн микрофон, спикер, камер)
- Хурлын ширээ
- Тог баригч

MnObstetrics платформыг ашиглан яаралтай тусламжийн цахим зөвлөгөөний сүлжээг ЭХЭМҮТ, орон нутгийн нэгдсэн эмнэлгүүд хооронд бий болгосон. Өнөөдрийн байдлаар энэ сүлжээнд нийт 25 нэгдсэн эмнэлэг холбогдсон. Цахим зөвлөгөөний өрөө бүрд харагдах байдал өндөртэй камер суурилуулж өгсөн болохоор холбогдох өвчтөн, эмчлүүлэгчид ч хэлэлцүүлгийн явцад хамтдаа байж, эмч нар өвчтөний байдал, эмчилгээний түүхийг бүрэн харах боломж олгож байна

БНСУ-ын Кошин их сургуулийн эмнэлэг, Төрийн тусгай албан хаагчдын нэгдсэн эмнэлгийн (ТТАХНЭ) хамтын ажиллагааны хүрээнд 2018 онд телемедицин төслийг хэрэгжүүлсэн.

Телемедицин үйлчилгээ:

- Хилийн бүсэд байгаа төрийн тусгай албан хаагчдад зөвлөгөө өгөх
- Сургалт 14 хоногт 1 удаа орох хилийн бүсэд байгаа
- Эмч нар гадаадын сургалтад хамрагдах
- Яаралтай үед шууд холбогдож зөвлөгөө тусламж үзүүлэх

B. Олон улсад дахь телемедициний судалгаа

Телемедицин буюу зайнаас эрүүл мэндийн үйлчилгээ үзүүлэх систем нь дэлхий даяар эрчимтэй хөгжиж буй салбар бөгөөд жил бүр дунджаар 20%-ийн өсөлттэй байна.

ОЛОН УЛСАД ДАХЬ ТЕЛЕМЕДИЦИН ПЛАТФОРМ

3-Р ХҮСНЭГТ

Платформ	Зориулалт	Онцлог	Улс орон
Teledoc Health	Оношилгоо, эмчилгээ	AI оношилгоо, даатгалтай	АНУ, Канад, Австрали
Amwell	Видео хурал, зайн зөвлөгөө	HIPAA стандарт хангасан, эмийн жор олгох боломжтой	АНУ, Их Британи
MDLIVE	Олон төрлийн эмнэлгийн үйлчилгээ	Дижитал эмчийн зөвлөгөө, даатгалын сүлжээтэй	АНУ
Doxy.mn	Үнэгүй телемедицин	Нэмэлт зүйлсгүй энгийн телемедицин	Дэлхий нийт
Ping An good doctor	Хятад дахь телемедицин	24/7 эмчийн зөвлөгөө, эмийн хүргэлттэй	Хятад
Babylon Health	Хиймэл оюун ухаанд суурилсан оношилгоо	AI-р шинжилгээ оношилгоо хийх, эмийн хүргэлт	Их Британи, Канад, Руанда
Practo	Энэтхэгийн телемедицин	Оношилгоо, эмийн хүргэлт, лабораторийн үйлчилгээ	Энэтхэг, Зүүн өмнөд Ази

Дэлхий даяар телемедицин платформууд эрчимтэй хөгжиж, хиймэл оюун ухаан, даатгалын сүлжээ, эмийн хүргэлт зэрэг нэмэлт үйлчилгээг хэрэгжүүлж байгаа бөгөөд АНУ, Их Британи, Хятад, Энэтхэг зэрэг улс орнууд энэ салбарт тэргүүлж байна.

ОЛОН УЛСАД ДАХЬ ЭМНЭЛГИЙН ДРОН

4-Р ХҮСНЭГТ

Дроны систем	Зориулалт	Онцлог	Улс орон
Zipline	Цус, эм, вакцин хүргэлт	Автоматжуулсан систем, 30-60 минутын хүргэлт хийх	Руанда, Гана, Нинери, АНУ
Matternet	Эмнэлэг хооронд дээж, эмийн хүргэлт	Хот, сууринд нислэг үйлдэх чадвартай	Швейцари, АНУ
Wing	Жижиг ачаа, эм хүргэлт	AI- д суурилсан, хурдан хүргэлт хийх чадвартай	АНУ, Австрали, Финланд
Swoop Aero	Эмнэлгийн хэрэгсэл, вакцин хүргэлт	Орон нутгийн эмнэлгийн системтэй холбогдсон	Африк, Номхон далайн бүс нутаг
Drone Delivery Canada	Эмнэлгийн хэрэгсэл, түргэн тусламж	Хол зайд нислэг үйлдэх чадвартай	Канад

Дрон ашиглалт нь эмнэлгийн хэрэгсэл, эм, вакцины хүргэлтийн хугацааг богиносгож, алслагдсан нутгийн эрүүл мэндийн үйлчилгээний хүртээмжийг нэмэгдүүлэх мөн технологийн хөгжлийг даган дронуудын зай туулах чадвар, хүргэлтийн нарийвчлал сайжирч, ирээдүйд олон улсын эрүүл мэндийн системд илүү өргөн хүрээнд ашиглагдах төлөвтэй байна.

IV. ҮР ДҮН

Телемедицинийн судалгааны үр дүнг харахад МУЗГ-ын 2012 оны 120 дугаар тогтоолоор баталсан, Цахим эрүүл мэндийн стратегийн хэрэгжилтийг хангах зорилгоор ЭМС 2013 оны 330 дугаар тушаалд үндэслэн улсын хэмжээн дэх эмнэлгүүд нь телемедициний зориулалтын өрөөтэй боловч телемедицинийг алсын зайн хурал, семинар, хяналт зэргээр түгээмэл ашиглагдаж байна. Мөн олон улсад телемедицин нь оношилгоо, эмчилгээ, хүргэлт гэх мэт олон төрөл зүйлээр хөгжиж байна. Телемедицин нь эмнэлгийн зөвлөгөөг цаг тухайд нь өгөх, хөдөө орон нутагт эрүүл мэндийн тусламж үйлчилгээний хүртээмжийг сайжруулах, гамшгийн хор уршгийг арилгахад дэмжлэг үзүүлэхэд үр дүнтэй болохыг судалгаагаар нотолсон байдаг байна.

V. ДҮГНЭЛТ

Дүгнэж хэлэхэд Монгол улсад телемедицинийг цаашид оношилгоо, эмчилгээ, мэс засал зэргээр хөгжүүлнэ ашиглавал эрүүл мэндийн зардлыг бууруулж, тусламж үйлчилгээний хүртээмж нэмэгдэх ба хөгжүүлэхийн тулд телемедициний цар хүрээг тэлэх технологийн дэвшилтийг сайжруулах зэргээр анхаарах шаардлагатай гэж үзэж байна. Телемедицин нь эрт эхэлсэн бөгөөд хөгжих ирээдүйтэй.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] Монгол улсын статистикийн үндэсний хороо (2023). Хүн амын тархалтын судалгаа.

[2] Эрүүл мэндийн сайдын тушаал (2013) Телемедициний журам.

[3] Монгол улсын засгийн газар. (2012) Цахим эрүүл мэндийн стратеги

[4] World Health Organization (WHO). (2010). Telemedicine: Opportunities and developments in member states. Geneva: WHO Press

[5] Bashshur, R., Shannon, G., Krupinski, E., & Grigsby, J. (2016). The Empirical Foundations of Telemedicine Interventions in Primary Care. Journal of Telemedicine and Telecare, 22(5), 273–292.

[6] Ryu, S. (2012). *History of telemedicine: Evolution, context, and transformation.* Healthcare Informatics Research, 18(2), 78-84.

[7] Ekeland, A. G., Bowes, A., & Flottorp, S. (2010). *Effectiveness of telemedicine: A systematic review of reviews.* International Journal of Medical Informatics, 79(11), 736-771.

[8] Kvedar, J. C., Coye, M. J., & Everett, W. (2014). *Connected health: A review of telemedicine in practice.* Health Affairs, 33(2), 194-199.

[9] Su, Z., Li, C., Fu, H., Wang, L., Wu, M., & Feng, X. (2024). Development and prospect of telemedicine. *Intelligent Medicine*, 4, 1–9.

[10] Fong, B., Fong, A. C. M., & Tsang, K. F. (n.d.). Capacity and link budget management for low-altitude telemedicine drone network design and implementation

РЕНТГЕН ЦАЦРАГИЙН ШИНГЭЭЛТ ЯСНЫ ЭРДСИЙН НЯГТЫН ХЭМЖИЛТЭД НӨЛӨӨЛӨХ НЬ

Ч. Намуун[1], М. Бумбат[2]
Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Цахилгаан техникийн салбар
**Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: [1]ch.namuun12@gmail.com, [2]boka.bumbat@must.edu.mn,*

***Хураангуй*: Декса (Dual-Energy X-ray Absorptiometry, DEXA) нь ясны эрдэс нягтыг хэмжихэд зориулагдсан аппарат юм. Декса аппарат нь хоёр өөр энергитэй рентген цацрагийг ашиглан яс болон зөөлөн эдийн цацрагийн шингээлтийн зөрүүг тодорхойлдог. Ясны эрдэс нягтыг хэмжихэд декса аппаратын рентген цацрагийн шингээлтийн нөлөөг тодорхойлохын тулд рентген туяаны шингээлтийн хуулийг ашиглан хэмжилт хийсэн. Судалгааны үр дүнгээс харахад ясны зузаан ихсэх тусам рентген туяаны интенсит буурч, шингээлтийн коэффициенттой шууд хамааралтай болох нь тогтоогдсон.**

Түлхүүр үг: декса, ясны эрдэс, рентген туяа, цацрагийн шингээлт

I. УДИРТГАЛ

Ясны эрдэс нягт нь ясны бат бэхийг тодорхойлох гол үзүүлэлтүүдийн нэг бөгөөд остеопороз болон ясны сийрэгжилтийг оношлох үндсэн параметр болдог [1]. Остеопороз гэдэг нь ясны эрдэс нягт буурах, ясны бүтэц суларч, яс хэврэг болох өвчин юм. Энэ нь ялангуяа хөгшрөлттэй холбоотой асуудал бөгөөд ясны эрдэс нягтыг хэмжих нь энэ өвчнийг оношлох, урьдчилан сэргийлэхэд чухал үүрэг гүйцэтгэдэг. Декса аппарат нь хоёр энергийн рентген туяаг ашиглан яс болон зөөлөн эдийн ялгааг тодорхойлох боломжтой байдаг [2]. Гэвч цацрагийн шингээлт нь хэмжилтийн нарийвчлалд ихээхэн нөлөө үзүүлдэг. Энэхүү судалгааны зорилго нь цацрагийн шингээлтийн нөлөөллийг тодорхойлох, хэмжилтийн нарийвчлалд хэрхэн сайжруулалт хийх боломжтойг үнэлэх явдал юм.

II. ҮНДСЭН ХЭСЭГ

Декса (Dual-Energy X-ray Absorptiometry) аппарат нь ясны эрдэс нягтыг хэмжих хамгийн өргөн хэрэглэгддэг технологиудын нэг юм [3]. Энэ арга нь хоёр өөр эрчим хүчтэй рентген туяа ашиглан яс болон зөөлөн эдийн цацрагийн шингээлтийн зөрүүг тодорхойлох замаар ажилладаг. Декса аппарат нь 40-45 кэВ (нам) болон 70-100 кэВ (өндөр) энергийн рентген туяаг ашигладаг. Нам энергийн туяа зөөлөн эдэд их, өндөр энергийн туяа ястай илүү харилцан үйлчлэлд ордог. Энэ ялгааг хэмжиж, боловсруулснаар ясны эрдэс нягтыг тодорхойлдог.

Рентген эх үүсвэрээс гарсан туяа хүний биед нэвтрэх үед яс болон зөөлөн эдээс хамааран ялгаатай хэмжээгээр шингээгдэж, үүний үр дүнд эрдэс нягтыг нарийвчлалтайгаар тодорхойлох боломжтой болдог [4].

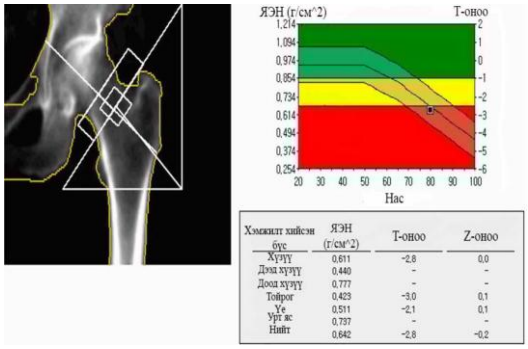
Рентген туяа материалд нэвтрэх явцдаа фотон-материалын харилцан үйлчлэлээс шалтгаалан шингээгддэг. Декса хэмжилтийн үед шингээлтийн үндсэн механизм нь фотон шингээлт (photoelectric absorption) болон Комптон сарнил (Compton scattering) юм [5]. Бага энергитэй фотонууд материалын атомын дотоод электронуудтай харилцан үйлчлэлцэж, энергийг нь бүрэн шингээдэг бол өндөр энергитэй фотонууд электроныг цохиж, чиглэлээ өөрчлөхөд хүргэдэг.

Декса аппарат нь ясны эрдэс нягтыг грамм тутамд квадрат см (г/см²) эсвэл T-оноо ба Z-оноо гэсэн үзүүлэлтээр хэмждэг. Эрүүл ясны нягтрал нь ихэвчлэн 1.0 г/см²-ээс дээш байдаг бол остеопорозтой өвчтөний ясны нягтрал 0.8 г/см²-ээс доош байдаг. T-оноо нь эрүүл залуу насны хүмүүсийн ясны нягтралын дундаж утгатай харьцуулсан хазайлтыг илэрхийлдэг бөгөөд -1.0-ээс дээш утга нь хэвийн, -1.0-ээс -2.5 хооронд нь ясны сийрэгжилт, -2.5-ээс доош нь остеопороз гэж үздэг. Декса аппарат нь ихэвчлэн гуяны яс, нийлмэл нуруу зэрэг ясны хэсгүүдийн нягтралыг хэмждэг.

ДЕКСА АППАРАТААР ХЭМЖДЭГ ЭРҮҮЛ БОЛОН ОСТЕОПОРОЗТОЙ ЯСНЫ НЯГТРАЛЫН ХАРЬЦУУЛАЛТ (Г/СМ²)

1-Р ХҮСНЭГТ

Ясны хэсэг	Эрүүл ясны нягтрал (г/см²)	Остеопорозтой ясны нягтрал (г/см²)
Гуяны яс	1.0 - 1.3	0.8 ба түүнээс доош
Нийлмэл нуруу	0.9 - 1.2	0.7 ба түүнээс доош



1-р зураг. Декса аппаратаар хэмжихэд ясны нягтралын үр дүн

Декса аппаратаар хэмжигддэг ясны нягтралын ердийн утгууд болон остеопорозтой ясны нягтралын утгуудыг Хүснэгт 1.-д харьцуулан үзүүлэв.

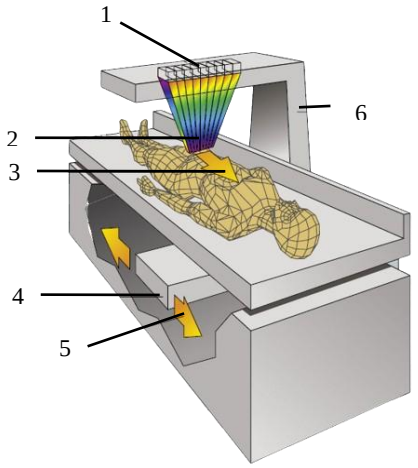
Ясны эрдэсийн нягтрал (ЯЭН) нь ясанд агуулагдах эрдэс бодисын хэмжээг илэрхийлэх үзүүлэлт бөгөөд ясны бат бэх, хугаралд тэсвэртэй байдлыг тодорхойлох чухал хүчин зүйл юм.

Дексa аппарат нь ясны эрдэс нягтыг хэмжихдээ T-оноо ба Z-оноо гэсэн үзүүлэлтүүдийг ашигладаг. T-оноо нь эрүүл залуу насны хүмүүсийн ясны нягтралын дундаж утгатай харьцуулсан хазайлтыг илэрхийлдэг бол Z-оноо нь тухайн насны хүмүүсийн дундаж утгатай харьцуулсан хазайлтыг харуулдаг. Зураг 1.-д Дексa аппаратаар хэмжигдсэн ясны нягтралын үр дүнг харуулсан бөгөөд энд T-оноо ба Z-оноо-ийн утгуудыг харьцуулсан байна.

Ясны нягтрал нь рентген туяаны шингээлтийн хэмжээнд чухал нөлөө үзүүлнэ. Өндөр нягтралтай яс, жишээлбэл, гуяны яс нь рентген туяаг их хэмжээгээр шингээдэг бол биеийн өөх, булчингийн харьцаа нь цацрагийн шингээлтийг өөрчилдөг. Нас, хүйсийн ялгаа нь ясны бүтэц болон эрдэс нягтад нөлөөлж, хэмжилтийн үр дүнд тодорхой зөрүү гаргаж болзошгүй.

2-р зураг. Дексa аппаратын бүтэц
1-детектор, 2-рентген цацраг, 3-шугаман сканнерын зам, 4-рентген хоолой, 5- Y тэнхлэгийн хөдөлгөөн, 6-с-гар,

Зураг 2-т Дексa (Dual-Energy X-ray Absorptiometry) аппаратын үндсэн бүтцийг харуулсан болно. Аппарат нь рентген туяаны эх



үүсвэр (X-Ray Source), хүлээн авагч (Detector), C-гар (C-Arm), Y тэнхлэгийн хөдөлгөөн зэрэг гол хэсгүүдээс бүрддэг. Рентген туяа нь сэнсэн туяа (Fan Beam) хэлбэрээр ялгарч, шугаман сканерын замаар (Linear Scan Path) биеийн эдэд нэвтэрдэг. Детектор нь туяаны шингээлтийг хэмжиж, ясны эрдэс нягтыг тодорхойлоход ашиглагддаг. Энэхүү бүтэц нь дексa аппаратын өндөр нарийвчлалтай хэмжилтийг хангахад чухал үүрэг гүйцэтгэдэг.

Дексa хэмжилтийн нарийвчлалд хэд хэдэн хүчин зүйл нөлөөлдөг. Биеийн байрлалын алдаа нь үр дүнд шууд нөлөөлж болох ба өөр өөр байрлалд хэмжилт хийхэд ялгаатай утгууд гарч болзошгүй. Мөн рентген туяаны эх үүсвэрийн тогтвортой байдал хэмжилтийн найдвартай байдлыг тодорхойлно. Зөөлөн эдийн нөлөө буюу өөх, булчингийн харьцаа нь шингээлтийн хэмжээнд нөлөөлж, хэмжилтийн үр дүнд өөрчлөлт оруулдаг.

Дексa хэмжилтэд рентген туяаны шингээлтийн коэффициентын тооцоо чухал үүрэгтэй. Шингээлтийн ерөнхий томьёо нь:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

Энд: I – Биед нэвтэрч буй рентген туяаны эрчим,

I_0 – Анхны рентген туяаны эрчим,

μ – Шингээлтийн коэффициент,

x – Шингээлт явагдаж буй материалын зузаан.

Энэхүү томьёогоор дамжуулан ясны бүтэц болон эрдэс нягтаас хамааран хэр их цацраг шингээгдэж байгааг тооцоолж болно [6]. Дексa хэмжилтийн үр дүн нь тухайн хүний ясны эрдэс нягтын түвшинг тодорхойлох, ясны сийрэгжилт, остеопороз зэрэг өвчний эрсдэлийг үнэлэхэд ашиглагддаг [7].

III. СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

Энэхүү судалгаанд ясны эрдэс нягтыг хэмжихэд дексa аппаратын цацрагийн шингээлтийн нөлөөг судлах зорилгоор туршилт, математик тооцоолол, өгөгдлийн шинжилгээний аргуудыг ашигласан. Судалгааг дараах үндсэн үе шатуудад хуваан явуулсан бөгөөд энэ нь онолын судалгаа, математик боловсруулалт, болон өгөгдлийн шинжилгээ гэсэн хэсгүүдээс бүрдэнэ.

Судалгааны эхний үе шатанд онолын судалгааг явуулж, дексa аппаратын ажиллах зарчим, рентген туяаны шингээлтийн онолын үндсийг нягтлан судалсан. Энэ үе шатанд шингээлтийн коэффициент тооцоолох томьёог тодорхойлон, шингээлтийн процессын механизмын талаарх ойлголтыг гүнзгийрүүлсэн. Дараа нь, туршилтын судалгааг стандарт нөхцөлд явуулж, ясны эрдэс нягтын хэмжилт хийж, рентген туяаны шингээлтийн утгуудыг тэмдэглэсэн.

Математик боловсруулалтын үе шатанд стандарт нөхцөлд ясны эрдэс нягтын хэмжилт хийж, рентген туяаны шингээлтийн утгуудыг тэмдэглэсэн [8]. Ясны эрдэс нягтыг хэмжихэд дексa аппаратын рентген цацрагийн шингээлтийн нөлөөг тодорхойлохын тулд рентген туяаны шингээлтийн хуулийг ашиглан хэмжилт хийсэн.

IV. СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН

Судалгаанд дексa аппаратын рентген цацрагийн эхний интенсит (I_0)-ийг тооцоолж, улмаар шингээлтийн коэффициент (μ)-ийн нөлөөг тодорхойлсон. Интенситийг дараах томьёогоор тооцоолов:

$$I_0 = \frac{C \times V^2 \times I}{d^2} \quad (2)$$

Энд $C = 1 \times 10^{-7}$ мГр·м²/мАс, V = 70 кВ, I = 2 мА, d = 100 см гэж үзвэл эхний интенсит 9.8×10^{-8}мГр/м² гарсан. Цацрагийн шингээлтийн коэффициент нь ясны төрөл болон рентген туяаны энергид харилцан адилгүй байна. Кортикаль ясанд $\mu \approx 0.5\text{-}1.0$ см⁻¹, спонгиоз ясанд $\mu \approx 0.2\text{-}0.5$ см⁻¹

байдаг. Судалгаанд 50 кэВ эрчим хүчний үед 2 см зузаантай ясанд μ = 0.6 см⁻¹ гэж авч үзэн шингээлтийн дараах интенситийг тооцоолов:

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

$$I = 9.8 \times 10^{-8} \times e^{-(0.6\times 2)}$$

Үүний үр дүнд I ≈ 2.95 × 10⁻⁸ мГр/м² болж буурсан нь ясны бүтэц рентген цацрагийг шингээж байгааг харууллаа. Судалгааны үр дүн нь декса аппаратын ясны эрдэс нягтыг тодорхойлохдоо цацрагийн энергийг тохируулах шаардлагатайг нотолж байна.

Судалгааны үр дүн нь декса аппарат нь ясны эрдэс нягтыг тодорхойлох үед рентген цацрагийн энергийг тохируулах шаардлагатайг харуулж байна [9]. Энэ нь ясны бүтэц, зузаан, цацрагийн хүчдэлийн хамаарлыг нарийвчлан судлах боломжтойг илтгэж байгаа бөгөөд хэмжилтийн нарийвчлалыг сайжруулахад чухал ач холбогдолтой юм.

Энэхүү судалгааны үр дүнгийн график нь Декса аппаратаас ясны эрдэс нягтыг хэмжих үед рентген туяаны шингээлтийн онол болон эмпирик тооцооллыг нэгтгэн харуулахад чиглэсэн юм. Графикийг үүсгэхдээ x тэнхлэг дээр ясны зузааны утгуудыг (см) харуулж, y тэнхлэг дээр зузаан нэмэгдэх тусам рентген туяаны интенсит экспоненциал буурах хамаарлыг харуулсан.

График 1.-ээс харахад ясны зузаан нэмэгдэх тусам рентген туяаны интенсит экспоненцийн хямралын дагуу буурч байгааг харуулж байна. Ясны өөр өөр хэсэг, жишээлбэл кортикаль болон спонгиоз ясны хувьд μ утга өөр өөр байдаг тул эдгээр ялгааг харьцуулан шинжлэхэд ч мөн адил ашиглаж болох юм. График 1. дээр 2 см утгад анхдагч тооцоололд олсон биед нэвтэрч буй рентген туяаны эрчмийн утгыг онцлон тэмдэглэсэн бөгөөд энэ нь тодорхой нэг утгад туяаны хэрхэн шингээж буйг илүү ойлгомжтой болгож, эмчилгээний болон оношилгооны үед ясны бүтцийг нарийвчлан шалгах боломжийг бүрдүүлдэг [11]. Ийм байдлаар судалгааны үр дүнгийн график нь декса аппаратаас ясны эрдэс нягтыг тодорхойлохдоо хэрэглэгдэж буй математик загварын үр дүнг визуал хэлбэрээр харуулах, тоон өгөгдлийг дүрслэн илэрхийлэхэд чухал үүрэг гүйцэтгэдэг бөгөөд ирээдүйд ясны эмчилгээ, оношилгооны аргачлалыг сайжруулахад тулгуурлан судалгааны үр дүнг өргөжүүлэхэд хэрэглэгдэнэ [12].

V. ДҮГНЭЛТ

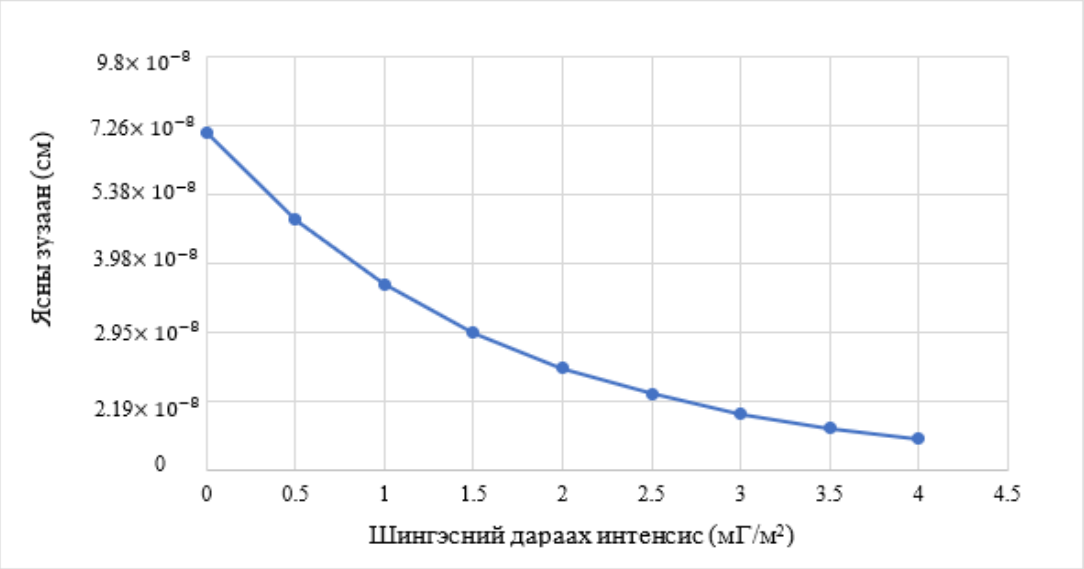


График 1. Ясны зузаан нэмэгдэхэд рентген туяаны интенситийн өөрчлөлт

шингээгдсэний да аратын рентген мГр/м²)-ийг дүрсэлнэ.

Рентген туяаны интенситет гэдэг нь тодорхой чиглэлд нэгж хугацаанд цацарч буй рентген туяаны энергийн хэмжээ бөгөөд энэ нь рентген үүсгүүрийн хүчдэл, гүйдэл, шүүлтүүр болон объектын нягтралаас хамаардаг [10]. Үндсэн математик загвар бол $I = I_0 e^{-\mu x}$ бөгөөд энд I₀ нь эхний интенсит (9.8×10⁻⁸ мГр/м²), μ нь ясны шингээлтийн коэффициент (0.6 см⁻¹) бөгөөд x нь ясны зузаан юм. Жишээ тооцоололд 2 см зузаантай ясд I утга 2.95×10⁻⁸ мГр/м² гарсан болохыг анхаарах боломжтой. Доорх график нь ясны цацрагийн шингээлтийн нөлөөг судалж, ясны эрдэс нягтын хэмжилтийн нарийвчлалд хэрхэн нөлөөлж байгааг тодорхойлсон. Судалгааны үр дүнгээс харахад рентген цацрагийн эхний интенсит нь 9.8 × 10⁻⁸мГр/м², шингээлтийн дараах интенсит нь 2.95 × 10⁻⁸ мГр/м² байгааг тогтоосон. Энэ нь яс рентген туяаг тодорхой хэмжээгээр шингээж, улмаар дамжин гарах туяаны интенсит буурч байгааг харуулж байна. Шингээлтийн энэ процесс нь шингээлтийн коэффициенттой шууд хамааралтай байна. Энэ нь онолын тооцооллуудтай нийцэж байгаагаас гадна, хэмжилтийн найдвартай байдлыг хангахын тулд

рентген энергийг нарийвчлан тохируулах шаардлагатайг харуулж байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] Blake, G. M., & Fogelman, I. (2007). The role of DXA bone densitometry in the diagnosis and treatment of osteoporosis.

[2] Nature Clinical Practice Endocrinology & Metabolism, 3(9), 570-578.

[3] Genant, H. K., Cooper, C., Poor, G., Reid, I., Ehrlich, G., Kanis, J., & Nordin, B. E. C. (1999). Interim report and recommendations of the WHO Osteoporosis Task Force. Osteoporosis International, 10(4), 259-264.

[4] Kanis, J. A., & Glüer, C. C. (2000). Update on the use of densitometry in the diagnosis and assessment of osteoporosis. Osteoporosis International, 11(3), 192-202.

[5] Laskey, M. A. (1996). Dual-energy X-ray absorptiometry and body composition studies. Nutrition, 12(1), 45-51.

[6] Watts, N. B. (2004). Fundamentals and errors of bone density measurement using dual-energy X-ray absorptiometry (DXA). Osteoporosis International, 15(11), 847-854.

[7] Baim, S., & Leonard, M. B. (2008). DXA assessment and interpretation in children an adolescents: Official position of the ISCD 2007. Journal of Pediatric Densitometry, 11(1), 43-58.

[8] Lewiecki, E. M., & Watts, N. B. (2009). New recommendations for the prevention and treatment of osteoporosis. Southern Medical Journal, 102(2), 175-179.

[9] Kanis, J. A., McCloskey, E. V., Johansson, H., Cooper, C., Rizzoli, R., & Reginster, J. Y. (2013). European guidance for the diagnosis and treatment of osteoporosis in postmenopausal women. Osteoporosis International, 24(1), 23-57.

[10] J. E. Adams (1997). Single and dual energy: X-ray absorption. 305-3346.

[11] Sanford Baim, Charles R. Wilson, E. Michael Lewiecki, Marjorie M. Luckey, Robert W. Downs Jr., Brian S. Lentle (2005). Precision assessment and radiation safety in dual-energy X-ray absorptiometry: The official position of the International Society for Clinical Densitometry. 371-375.

[12] Gabriela Albuquerque, Agnaldo Cruz, Ricardo Valentin (2022). A theoretical approach to osteoporosis using non-ionizing microwave-based radiation: An experimental study. 10-16.

УТАСГҮЙ ЦЭНЭГЛЭГЧИЙН ДИЗАЙН БА ХЭРЭГЖҮҮЛЭЛТ

Б.Өсөхсайхан, Э.Дашпунцаг, Д.Өлзийноров
Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Цахилгаан техникийн салбар
Холбогдох зохиогчийн и-мэйл хаяг. Evenkollis72@gmail.com, ulziinorov@must.edu.mn

Хураангуй: Утасгүй цахилгаан дамжуулах (УЦД) технологи нь сүүлийн жилүүдэд эрчимтэй хөгжиж, олон салбарт нэвтэрч байна. Энэхүү технологи нь дамжуулагчгүйгээр эрчим хүчийг дамжуулах боломжийг бүрдүүлж, хэрэглээний тав тухыг дээшлүүлэхээс гадна цахилгаан холболтын элэгдэл, эвдрэлээс зайлсхийх давуу талтай. УЦД-ийн хамгийн өргөн хэрэглэгддэг аргуудын нэг нь цахилгаан соронзон индукц бөгөөд энэ нь Фарадейн хуульд суурилж, дамжуулагч ороомгоор цахилгаан соронзон орон үүсгэн, эрчим хүчийг дамжуулдаг. Энэхүү өгүүлэлд цахилгаан соронзон индукцийн үндэс, давуу болон сул талуудыг судалж жижиг оврын 5.2 В хүчдэлтэй утасгүй цэнэглэгчийн дизайн ба туршилтын үр дүнг танилцуулна. Судалгааны явцад 1мм-50мм зайд ороомгийн харилцан үйлчлэлийг туршсан бөгөөд дамжуулалтын үр ашгийг нэмэгдүүлэхийн тулд ороомгийн эргэлтийн тоо, давтамж, цахилгаан хэлхээний оновчлол чухал болохыг дүгнэсэн. Энэ судалгаа нь утасгүй цахилгаан дамжуулалтын технологийн хэрэглээ, хөгжлийн боломжийг харуулахын зэрэгцээ цаашдын судалгааны чиглэлийг тодорхойлох ач холбогдолтой юм.

Түлхүүр үг: зэс ороомог, харилцан индукцлэл, резонансын давтамж, соронзон орон.

I. УДИРТГАЛ

Орчин үед технологийн хөгжлийн явцад утасгүй эрчим хүч дамжуулах шийдлүүд өргөн хүрээнд судлагдаж, хэрэглээнд нэвтэрч байна. Утасгүй цахилгаан дамжуулалт нь холболтын утас, кабель ашиглахгүйгээр эрчим хүчийг дамжуулах боломжийг бүрдүүлснээр цахилгаан эрчим хүчний салбарт шинэ дэвшил авчирч буй технологи юм [1]. Энэхүү судалгааны ажлаар утасгүй цахилгаан дамжуулалтын цахилгаан соронзон индукцийн аргыг онцлон авч үзэж, онолын үндэслэл болон практик туршилтын үр дүнг танилцуулах болно. Утасгүй цэнэглэгч нь өнөө үед хамгийн өргөн хэрэглээтэй электрон төхөөрөмжийн нэг бөгөөд хэрэглэгдэх тэжээлийн хувьд бага болсоор байгаа учир хэрэгцээ шаардлага нэмэгдсээр байгаагийн сацуу өнөө үеийн бүхий л электрон хэрэгслүүдэд хэрэглэгдэж байгаа Li-ion батарейны хувьд утасгүй цэнэглэгч төхөөрөмжтэй өндөр түвшинд хослох боломжтой юм [2]. Утасгүй утас цэнэглэгчийн хувьд хэрэглээ талаарх судалгаа маш олноор хийгдэж гар утас электрон хэрэгсэл үйлдвэрлэлээрээ дэлхийд дээгүүрт ордог солонгос улсын тухайд л гэхэд 2008 оноос эхлэн одоог хүртэл гар утсыг утасгүй цэнэглэх технологийг бий болгох 351 зохиогчийн эрх бүртгэгдээд байгаа ба үүний зөвхөн 180 нь 2012 онд бүртгэгдсэн байна [3]. Үүний 49% нь дотоодын томоохон компаниудын судалгааны төвөөс, 26% нь тус тухайн улсад ажиллаж буй гадаадын хөрөнгө оруулалттай компаниуд, 5% нь жижиг, дунд үйлдвэрлэгчид, 21% нь их, дээд сургуулиудын судалгааны багаас гарч байгаа гэж үзвэл судалгааны гол чиглэл нь утасгүйгээр цахилгаан дамжуулалт тэр дундаа утасгүй цэнэглэгчийн судалгаа байна [4]. Энэ өгүүллээр утасгүй цэнэглэгчийн онолын болон туршилтын судалгаанд хувь нэмэр оруулахын зэрэгцээ цаашдын хөгжүүлэлт, манай орны эрчим хүчний хэрэглээнд ашиглах боломжийг судлах зорилготой.

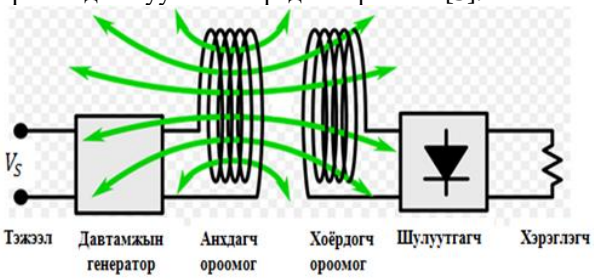
II. ОНОЛЫН ХЭСЭГ

А. Цахилгаан соронзон индукцийн үндэс

Цахилгаан соронзон индукцлэл нь Фарадейн хуульд суурилсан бөгөөд цахилгаан соронзон орны тусламжтайгаар энерги дамжуулах процессыг тайлбарладаг. Энэхүү арга нь хоёр гол бүрэлдэхүүн хэсэгтэй.

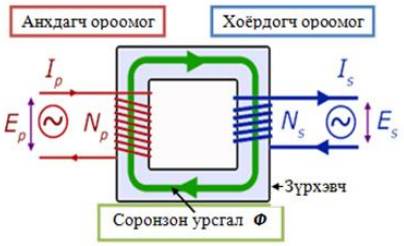
- **Дамжуулагч ороомог (ТХ):** Өндөр давтамжийн хувьсах гүйдэл дамжуулж, цахилгаан соронзон орон үүсгэдэг.
- **Хүлээн авагч ороомог (RX):** Дамжуулагч ороомгийн үүсгэсэн цахилгаан соронзон орныг хүлээн авч, индукцийн гүйдэл үүсгэдэг.

Индукцийн холболт нь цахилгаан соронзон индукцлэлийн (Electromagnetic Induction, EMI) нөлөөгөөр эрчим хүчийг дамжуулдаг утасгүй эрчим хүчний дамжуулалтын үндсэн арга юм [5].



1-р зураг. Индукцийн холболтын бүтэц

Энэ нь трансформаторын зарчимтай ижил ажиллах бөгөөд хувьсах гүйдлийг ашиглан дамжуулагч ороомгоос (анхдагч) хүлээн авагч ороомог (хоёрдогч)-т цахилгаан хөдөлгөгч хүчдэл үүсгэдэг [6].



2-р зураг. Трансформаторын ажиллах зарчим

Ороомгийн зай (coupling coefficient, k) нь цахилгаан энерги дамжуулах үр ашгийг тодорхойлдог. Ихэнх индукцийн дамжуулалтад k ≈ 0.1–0.9 байдаг бөгөөд зай холдох тусам эрчим хүчний энергийн алдагдал ихэснэ [7]. **Соронзон индуктив дамжуулалт** нь цахилгаан эрчим хүчийг дамжуулахдаа **цахилгаан соронзон индукц** ашигладаг зарчим юм. Энэ технологи нь дамжуулах ороомог болон хүлээн авах ороомгийн хооронд үүссэн соронзон орноор дамжуулж эрчим хүчийг дамжуулдаг [8].

Б. Соронзон орны хосолмол резонанс

Хос үүсгэгчээс ялгарах цахилгаан соронзон долгион резонанс үүсгэх зарчим дээр үндэслэгдсэн энэ арга утасгүй цэнэглэгчийн аргуудаас үр ашиг хамгийн өндөртэй байгаа. Соронзон орны хосолмол резонанс (MCR) нь хоёр эсвэл түүнээс олон ороомгийн резонансын зарчим дээр үндэслэн эрчим хүчийг алсын зайд дамжуулах физик үзэгдэл юм [9]. Энэхүү үзэгдэл нь утасгүй эрчим хүч дамжуулах (Wireless Power Transfer - WPT) технологийн гол үндэс болдог. Хоёр ороомог хоорондоо соронзон холбоогоор (coupling) холбогдсон үед тэдгээрийн индукцийн резонансын давтамж хоорондоо ижил байвал их хэмжээний энерги дамжуулалт хийгдэнэ [10].

Харилцан индукцийн тэгшитгэл: Хоёр ороомгийн хооронд харилцан индукц (M) байх үед, хоёр дахь ороомогт индукцийн хүчдэл үүснэ:

$$V_2 = -M\frac{dI_1}{dt} \qquad (1)$$

Үүнд:

M - харилцан үйлчлэлийн коэффициент (Генри, H)
I_1 - эхний ороомгийн гүйдэл
V_2 – хоёрдох ороомогт үүсэх хүчдэл

Резонансын давтамж: Хэрэв ороомог тус бүр өөрийн индукц ба багтаамжийн утгатай бол резонансын давтамж дараах байдлаар тодорхойлогдоно:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \qquad (2)$$

Үүнд:

L - ороомгийн индукц (Генри, H)
C - багтаамж (Фарад, F)
f_0- резонансын давтамж (Герц, Hz)

Индукцийн дамжуулалтад (k): Хоёр ороомгийн соронзон холбоог холболтын коэффициент (k) гэж тодорхойлдог:

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \qquad (3)$$

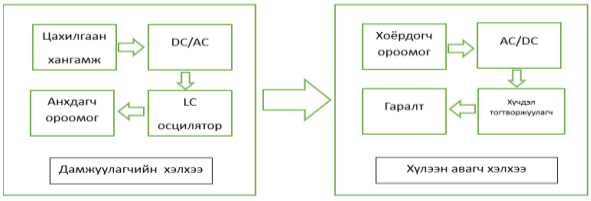
Үүнд:

M – харилцан индукц (Генри, H)
L_1, L_2- хоёр ороомгийн индукцлэл
K нь өндөр байвал энергийн дамжуулалт сайн байдаг.

III. ТУРШИЛТЫН ҮР ДҮН

А. Утасгүй цэнэглэгчийн ажиллах зарчим

1-р зурагт утасгүй цэнэглэгчийн ажиллах зарчмыг блок диаграммаар дүрсэлсэн ба энэхүү блок диаграмм нь дамжуулагч, хүлээн авагч гэсэн 2 хэсгээс бүрдэх бөгөөд эхний буюу дамжуулагчийн хэсэгт цахилгаан хангамж нь тэжээлийн эх үүсвэр, DC/AC хувиргуурт IRFZ44N транзистор ашиглах бөгөөд ингэснээр ороомгийн үр ашгийг дээшлүүлнэ, LC осциллятор нь тодорхой давтамж үүсгэх хэсгийг, анхдагч ороомог нь эрчим хүч дамжуулах хэсгийг харуулах болно. Харин дараагийн хэсэгт хоёрдогч ороомог нь эрчим хүч хүлээн авах хэсгийг, AC/DC шулуутгагч, хүчдэл тогтворжуулагч болон 5.2 В-ын гаралт гэсэн хэсгээс бүтнэ. Доорх блок диаграммын дагуу хийх статик утасгүй цэнэглэгчийн дамжуулагч болон хүлээн авагчийн хэлхээг боловсруулах болно[11].



3-р зураг. Утасгүй цэнэглэгчийн блок диаграмм

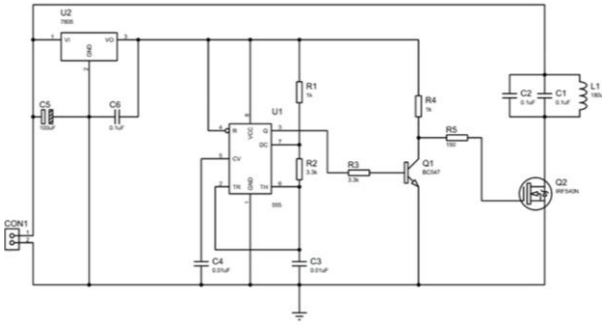
Б.СТАТИК УТАСГҮЙ ЦЭНЭГЛЭГЧИЙН БЛОК ДИАГРАММ

Статик утасгүй цэнэглэгчийн ажиллах зарчмыг 2-р зурагт блок диаграммаар үзүүлэв. Энэхүү блок диаграммд цахилгаан хангамж нь тэжээлийн эх үүсвэр, AC/DC хувиргуурт хүчдэл тогтворжуулагч ашиглаж байгаа ингэснээр хэлхээг тогтмол хүчдэлээр цэнэглэх боломжтой болно. Харин өгөгдлийн болон хяналтын модульд таймер болон MOSFET ашигласан бөгөөд ингэснээр дамжуулагчийн элементүүдийг удирдах боломжтой болно. Давтамжийн хувиргуурт конденсаторуудыг ашигласнаар өндөр давтамжийн хувьсах хүчдэлийг гаралтад гаргах боломжтой болно. Дамжуулагч болон хүлээн авагч нь өмнө нь дурдсан хэлхээнүүд бөгөөд дамжуулагчаас хүлээн авагч руу цахилгаан дамжуулна. Доорх блок диаграммын дагуу статик утасгүй цэнэглэгчийн хэлхээг боловсруулж туршилт хийнэ.

4-р зураг. Статик утасгүй цэнэглэгчийн блок диаграмм

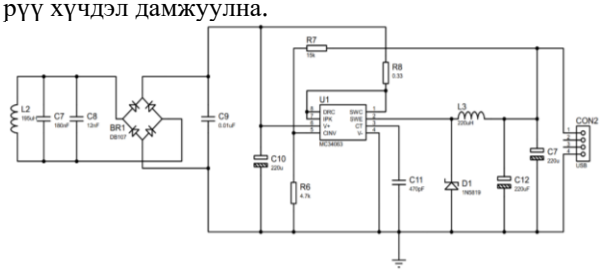
В.УТАСГҮЙ ЦЭНЭГЛЭГЧИЙН СХЕМ

Утасгүй цэнэглэгч төхөөрөмжийн цахилгаан хэлхээг proteus.8 программ хангамж ашиглаж симуляц хийсэн. Утасгүй цэнэглэгчийн дамжуулагчийн хэлхээг зураг 5-д үзүүлсэн бөгөөд энэ нь хугацаа зохицуулж ажилладаг NE555 таймер, ерөнхий зориулалттай NPN транзистор BC547, N-сувгийн MOSFET IRF540N, LC-осциллятор, 5 вольтын цуваа хүчдэлийн зохицуулагч LM7805 зэрэг элементүүдийг ашигласан.



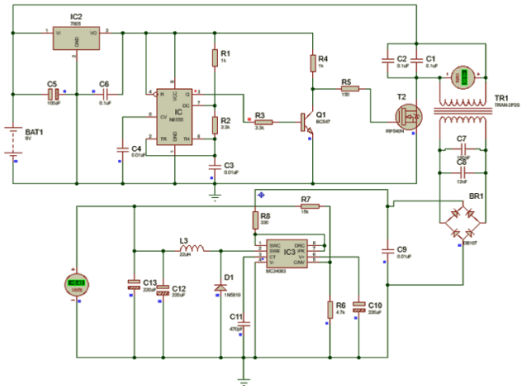
5-р зураг. Дамжуулагчийн цахилгаан хэлхээ

Хүлээн авагч хэлхээг зураг 6-д үзүүлсэн бөгөөд L1-ээс гарсан хувьсах хүчдэлийг индуктив L2 хүлээж авч (зураг 3.5) DB107 шулуутгагчаар дамжин тогтмол гүйдэлд хувиргана. MC34063 хүчдэл хувиргагч нь PWM дохио ашиглан оролтын хүчдэлийг хянаж L3 индуктив дээр энерги хадгалж, бууралттай гаралт үүсгэсний дараа 1N5819 диодоор дамжин конденсаторуудыг цэнэглэнэ. Энэ явцад оролтын хүчдэлээс бага гаралтын хүчдэл үүсэж C11,C12,C13 конденсаторуудад шүүгдсэнээр гаралтын хүчдэл тогтвортой бөгөөд алдагдал багатай болно. Гаралт нь USB холбогчоор дамжин хэрэглэгч рүү хүчдэл дамжуулна.



6-р зураг. Хүлээн авагчийн цахилгаан хэлхээ

Схемийн дагуу элементүүдийг цуглуулж симуляцийг Proteus 8 программ дээр хийсэн үр дүнг 7-р зурагт харуулав.



7-р зураг. Дамжуулагч,хүлээн авагчийн симуляци

Г. ОРООМГИЙН ТООЦОО

Ороомгуудын индукцийг **MIT 9216A** “DIGITAL LCR METER” төхөөрөмж ашиглан хэмжилт авсан бөгөөд дамжуулагч ороомгийн индукцлэл L_1=180 мкГн, хүлээн авагч ороомгийн индукцлэл L_1=220 мкГн утгатай хэмжигдсэн. **MIT 9216A** тоон төхөөрөмжийн нь хэмжих олон төрлийн функцтэй багаж юм. Энэ нь 13-аас дээш зэрэглэлийн хэмжилтийн чадвартай, 0.05%-ийн нарийвчлалтай бөгөөд туршилтын 5 төрлийн давтамжтай.

8-р зураг. MIT 9216A

төхөөрөмж ашиглан ороомгуудын индукцлэл хэмжилтийн утга

ОРООМГУУДЫН ҮЗҮҮЛЭЛТ

1-Р ХҮСНЭГТ

Параметрүүд	*Дамжуулагч ороомог*	*Хүлээн авагч ороомог*
Ороомгийн дотоод диаметр (D)	*5 см*	*5 см*
Ороомгийн эргэлтийн тоо (n)	*35*	*45*
Зэс утасны диаметр (D)	*0.45 мм*	*0.45 мм*
Ороомгийн индукцлэл (L)	*180 мкГн*	*195 мкГн*

Дамжуулагчийн хэлхээний тооцоо:

$$t_{\text{цэнэглэх}} = 0.693 \times (R_1 + R_2) \times C_3 = 0.693 \times (1000 + 3300) \times 0.00001 = 0.03 \text{ с}$$

Энд:

0.693- цэнэглэх/цэнэг алдалтын стандарт хувь хэмжээ

$t_{\text{цэнэглэх}}$-конденсаторын цэнэглэх хугацаа (с)

R_1, R_2-эсэргүүцэл $R_1 = 1\ k\Omega$, $R_2 = 3.3$ кΩ

C_3-цэнэглэгдэж буй конденсатор (Ф)

$$t_{\text{цэнэггүйжих}} = 0.693 \times R_2 \times C_3 = 0.693 \times 3300 \times 0.00001 = 0.02 \text{ с}$$

Энд:

$t_{\text{цэнэггүйжих}}$-цэнэг алдах хугацаа (с)

R_2-эсэргүүцэл (Ω)

C_3- конденсаторын багтаамж (Ф)

Дамжуулагчийн резонансын давтамж:

$L_1 = 180$ мкГн тул

$$C = C_1 + C_2 = 0.1\ \text{мкФ} + 0.1\ \text{мкФ} = 0.2\ \text{мкФ}$$

$$F_T = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2 \times 3.14\sqrt{180\text{мкГн} \times 0.2\text{мкФ}}} = 26.5\ \text{кГц} \approx 26\ \text{кГц}$$

Энд:

F_T- резонансын давтамж (Гц)

L – ороомгийн индукцлэл (Гн)

C- конденсаторын багтаамж (Ф)

Хүлээн авагч резонансын давтамж:

LC резонансын давтамж нь дамжуулагчийн резонансын кГц давтамжтай тэнцүү байх ёстой. Тиймээс:

$L_2 = 220$ мkГн тул

$C = C_7 + C_8 = 180$ нФ $+ 12$ нФ $= 192$ нФ байна

$$F_T = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2 \times 3.14\sqrt{195\text{мГн} \times 192\text{нФ}}} = 24.5\ \text{кГц} \approx 25\ \text{кГц}$$

Гаралтын хүчдэлийн тооцоо:

$$V_{ref} = IC_3 = 1.25\ \text{В}$$

$$R_7 = 15\ \text{кΩ}$$

$$R_6 = 4.7\ \text{кΩ}$$

$$V_o = V_{ref}\left(1 + \frac{R_7}{R_6}\right) = 1.25 \times \left(1 + \frac{15000}{4700}\right) = 5.2\ \text{В}$$

Энд:

V_{ref}-тогтмол хүчдэл (В)

R_7, R_6-эсэргүүцэл (Ω)

V_o-гаралтын хүчдэл (В)

Гаралтын чадлын тооцоо:

$I_o = 271$ мА

$$P_o = V_o \times I_o = 5.2 \times 0.211 = 1.097\ \text{Вт}$$

Энд:

I_o-гаралтын гүйдэл (А)

P_o-гаралтын чадал (Вт)

Оролтын чадлын тооцоо:

$V_I = 9$ В

$I_I = 180$ мА

$P_I = V_I \times I_I = 9 \times 0.180 = 1.62$ Вт

Энд:

P_I-оролтын чадал

V_I-оролтын хүчдэл

I_I-оролтын гүйдэл

Ашигт үйлийн коэффициент:

$$\eta = \frac{P_o}{P_I} = \frac{1.097\ \text{Вт}}{1.62\ \text{Вт}} = 0.6774 \approx 67.7\%$$

Хэлхээний гаралтын чадал нь оролтын чадлын 86.4%-тай тэнцүү байна.Үлдсэн 13.6% нь дулааны алдагдал, эсэргүүцлийн алдагдал, эсвэл шилжих процессын алдагдал юм.

Д. СТАТИК УТАСГҮЙ ЦЭНЭГЛЭГЧИЙН ТУРШИЛТ

Утасгүй цэнэглэгч төхөөрөмжийн дамжуулагч болон хүлээн авагч ороомгийн харилцан үйлчлэл нь зайнаас хамаарсан хэмжилтүүдийг хийж график байгууллаа. Хэмжилтийн үр дүнд ашигт үйлийн коэффициент 1мм зайнд өндөр гарсан зай холдох тусам ашигт үйлийн коэффициент багасаж байгаа.

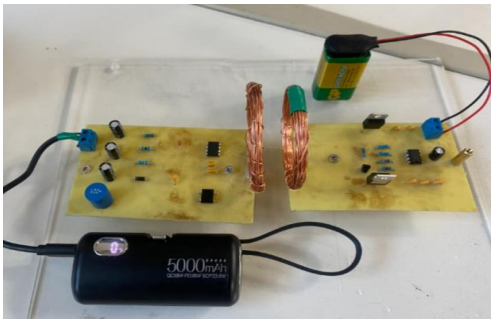
ЗАЙНААС ХАМААРСАН АҮК-ЫН ХЭМЖИЛТ

2-Р ХҮСНЭГТ

Ороомог хоорондын зай	I_{IN} (mA)	I_{OUT} (mA)	P_{IN} (W)	P_{OUT} (mA)	АҮК
1 мм	180	2.11	1.62	1.097	67.7%
10 мм	180	1.85	1.62	0.962	59.4%
20 мм	180	1.82	1.62	0.946	58.4%
30 мм	180	1.33	1.62	0.692	42.7%
40мм	180	0.	1.62	0	0
50мм	180	0	1.62	0	0

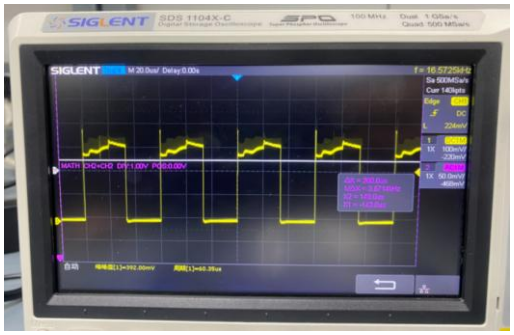
9-р зураг. Ороомгийн зай ба АҮК-ын хамаарал

Уг судалгааны ажлаар ухаалаг гар утасны утасгүй цэнэглэгчээс жишээ аван элементүүдийг цуглуулан симуляци хийж PCB хавтан боловсруулсны дагуу уусгаж бэлтгэн угсралтыг хийж гүйцэтгэсэн.



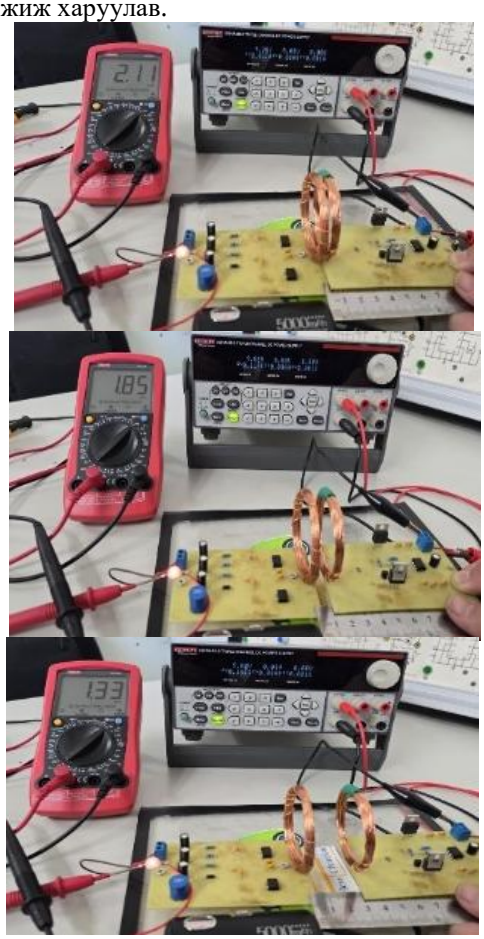
10-р зураг. Статик утасгүй цэнэглэгчийн угсралт

Хэлхээний угсралтыг хийж гүйцэтгэсний дараагаар утасгүй цэнэглэгчийн гаралтын хүчдэл болон NE555 таймерын үүсгэх PWM сигналын давтамжийн хэмжилтийг хийсэн. Хэмжилтийн үр дүнг зураг 12-д харуулав. Зайнаас хамаарсан хэмжилтээс харахад сигналын давтамж $f = 16.5$ кГц, гаралтын хүчдэл $V_o = 5.2$ В харагдаж байна.



11-р зураг. Осциллографаар хэмжсэн сигналын давтамж

Мөн зураг 12-д ороомог хоорондын зайнаас хамаарч гаралтын гүйдэл, оролтын гүйдлийн өөрчлөлтийг хэмжиж харуулав.



12-р зураг. Хэмжилт 1. Ороомог хоорондын зай (1мм, 10мм, 30мм) ба гаралтын хүчдэл

Е. ЭЛЕМЕНТ СОНГОЛТ

Утасгүй цэнэглэгчийн туршилт

ТӨСЛИЙН ХЭСГИЙН БҮРЭЛДЭХҮҮН ХЭСЭГ

3-Р ХҮСНЭГТ

№	Элементийн нэр	Үүрэг
1	NE555	PWM (Pulse Width Modulation) дохиог үүсгэнэ
2	L7805	Хүчдэлийг тогтворжуулж элементүүдийг тэжээнэ
3	MOSFET IRF540N	PWM эсвэл HIGH/LOW
4	Дамжуулагч ороомог	Цахилгаан тэжээл өгөхөд ороомгийн эргэн тойронд соронзон орон үүсгэнэ
5	Хүлээн авагч ороомог	Дамжуулагчаас гарах энергийг хүлээн авна
6	BC547	PWM дохиог өсгөнө
7	DB107	AC/DC хувиргана
8	1N5819	Хүчдэлийн алдагдлыг бууруулж нэг чиглэлд гүйдлийг дамжуулна
9	MC34063	PWM дохионы тусламжтай оролтын хүчдэлийг хянана

IV. ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд утасгүй цэнэглэгчийн хэлхээ зохиож тооцоо болон симуляци хийсэн. Хэлхээний ороомгийн тооцоо хийж резонансын давтамжийг олсон. Утасгүй цэнэглэгчийн туршилтын үр дүнд ашигт үйлийн коэффициент 1мм зайнд өндөр гарсан бөгөөд зай холдох тусам ашигт үйлийн коэффициент багасаж байгаа. Утасгүй цэнэглэгчийн ашигт үйлийн коэффициент (АҮК) нь олон хүчин зүйлээс хамаарч өөрчлөгдөж байдаг бөгөөд ороомгийн хоорондын зай, ороомгийн ороодосны тоо нь чухал нөлөөлдгийг мэдэж авсан. Ингээд ашигт үйлийн коэффициент хэрхэн сайжруулах талаар дараах алхмуудыг хийнэ.

- Ороомгийн хоорондын зайг тохируулах
- Ороомгийн ороодосны тоог нэмэгдүүлэх
- Ороомгийн хэлхээний дизайныг сайжруулах
- Резонансын давтамжийг тохируулах
- Туршилт ба симуляцийг хослуулан илүү нарийвчилсан судалгаа хийх

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] **Trevor J. Hall** – *Introduction to Electromagnetic Engineering* (2021)2021.

[2] **Ghavami, M., Michael, L. B., Kohno, R.** – *Ultra Wideband Signals and Systems in Communication Engineering* (2007)

[3] **Koji Tanabe** – *Wireless Power Transfer: Principles and Engineering Explorations* (2019)

[4] **Zhu, J. G., Guo, Y. G.** – *Electromagnetic Field Theory for Engineers and Physicists* (2017)

[5] L. Xie, Y. Shi, Y. Hou, and H. Sherali, "Making sensor networks immortal: An energy-renewal approach with wireless power transfer", IEEE/ACM Trans. on Networking, vol. 20, no. 6, pp. 1748-1761, 2012. Available: 10.1109/tnet.2012.2185831

[6] "Working Principle of Wireless Mobile Charger Circuit Diagramm" May 9.2017

[7] **Sample, A. P., Meyer, D. A., Smith, J. R.** – *Analysis, Experimental Results, and Range Adaptation of Magnetically Coupled Resonators for Wireless Power Transfer* (IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2011)

[8] **Cannon, B., Hoburg, J., Stancil, D., Goldstein, S.** – *Magnetic Resonant Coupling As a Potential Means for Wireless Power Transfer to Multiple Small Receivers* (IEEE Transactions on Power Electronics, 2009)

[9] **Jang, B., Jeong, S.** – *Design Optimization of Wireless Power Transfer System for Electric Vehicles* (IEEE Transactions on Power Electronics, 2019)

[10] S. Pawade, T. Nimje, and D. Diwase, "Goodbye wires: Approach to wireless power transmission", Int. J. Emerging Technol. and Adv. Eng., vol. 2, issue 4, pp. 382-387, Apr. 2012.

[11] Э.Дашпунцаг "Цахилгаан машинд зориулсан утасгүй цэнэглэгч системийн судалгаа" БАКАЛАВРЫН ТӨГСӨЛТИЙН АЖИЛ-2024

ОДОМЕТР ДЭЭР СУУРИЛСАН ДУУ ХООЛОЙГООР УДИРДДАГ ГУРВАН ДУГУЙТ РОБОТЫН СИСТЕМ

Ч.Амартүвшин, Л.Дэмбэрэлдодов, Н.Энхбаатар, Н.Сугарсүрэн, Д.Өлзийноров
Монгол улс, Улаанбаатар хот, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Цахилгаан техникийн салбар
****Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: amraac4@gmail.com, dodov200100@gmail.com, nyamaaenhuush@gmail.com, sugarsurenn9@gmail.com, ulziinorov@must.edu.mn***

Хураангуй: **Энэхүү судалгааны ажил нь одометр дээр суурилсан, дуу хоолойгоор удирддаг гурван дугуйт роботын системийг хөгжүүлэхэд чиглэгдсэн. Робот нь ESP32 микроконтроллер ашиглан Bluetooth холболтоор хүлээн авсан дуу хоолойн командыг боловсруулж хөдөлгөөнөө удирддаг. Омни дугуйтай BLDC моторуудыг CAN BUS протокол ашиглан удирдаж, илүү тогтвортой, гадны шуугианд тэсвэртэй, нарийн хөдөлгөөн хийх боломжийг бүрдүүлсэн. Одометрийн мэдээллийг авахын тулд гурван нэмэлт энкодер ашигласан бөгөөд хоёр нь Y тэнхлэгийн дагуу, нэг нь X тэнхлэгийн дагуу байрласан. Ингэснээр роботын байршил, чиглэлийг өндөр нарийвчлалтай хянах боломжийг олгоно. Судалгааны хүрээнд хөдөлгөөний удирдлагын алгоритм боловсруулж, роботын чанартай хариу үйлдэл үзүүлэх чадварыг туршилтаар үнэлсэн. Судалгааны үр дүнгээр энэхүү систем нь найдвартай ажиллагаатай, олон талт хэрэглээг шинээр бий болгох боломжтой болох нь батлагдсан.**

Түлхүүр үг: Дуу авиа боловсруулалт(Natural Language Processing), Омни дугуй, Can Bus протокол, BLDC моторын PID удирдлага, Pulse per revolution(PPR)

I. УДИРТГАЛ

Сүүлийн жилүүдэд хиймэл оюун ухаан, дуу хоолой таних технологи автомат роботын хөгжил хурдацтай өргөжиж байна. Дуу хоолойн удирдлагатай роботын систем нь хөгжлийн бэрхшээлтэй иргэдэд туслах, ухаалаг тээврийн хэрэгсэл хөгжүүлэх, автоматжуулалтыг сайжруулах зэрэг олон салбарт хэрэглэгдэж байна [1] ,[5], [8].

Энэхүү судалгаа нь автономит роботын удирдлага, хүн-роботын харилцааны хөгжилд хувь нэмэр оруулж, инженерчлэл, хиймэл оюун ухаан, автоматжуулалтын салбарт өргөн хэрэглээтэй байж болох юм. Энэхүү судалгааны ажлаар одометр дээр суурилсан, дуу хоолойгоор удирддаг гурван дугуйт роботын систем хөгжүүлэхийг зорьсон [7]. Манай роботын онцлог нь:

- Омни дугуй ашиглан бүх чиглэлд чөлөөтэй хөдөлгөөн хийх боломжтой.
- BLDC моторыг CAN Bus протоколоор удирдана, ингэснээр хурдны хяналт сайжирч, олон мотор нэгэн зэрэг удирдах боломжтой болно.
- ESP32 микроконтроллер ашиглан Bluetooth холболтоор дуу хоолойн командыг хүлээн авч, роботын явалтыг удирдана.
- Одометрийн өгөгдлийг гурван энкодерээр авч боловсруулна (хоёр нь Y чиглэлд, нэг нь X чиглэлд байрлана), ингэснээр роботын байрлалын нарийвчлал сайжирна

II. ОНОЛ

Дуу авианы боловсруулалт: Google-ийн яриа таних API болон Чимэгэ системийн яриа таних технологиуд нь дуу хоолойг бичвэрт хувиргах (speech-to-text) үйлчилгээг санал болгодог. Эдгээр технологиуд нь аудио өгөгдлийн тодорхойлолтод тусгай шаардлагуудыг тавьдаг бөгөөд энэ нь таних нарийвчлалд шууд нөлөөлдөг.

Хүний ярианы давтамжийн хүрээ: Хүний ярианы дууны давтамж нь ойролцоогоор 300Hz-ээс 3400Hz хооронд байдаг. Энэ хүрээ нь ярианы ойлгомжтой байдалд чухал үүрэгтэй.

Nyquist-ийн теорем: Дижитал дуу бичлэгт Nyquist-ийн теоремыг ашигладаг бөгөөд энэ нь дууны дохиог зөв дахин бүтээхийн тулд дээж авах давтамж нь хамгийн өндөр давтамжаас хоёр дахин их байх ёстойг заадаг. Тиймээс 3400Hz-ийн хамгийн өндөр давтамжийг зөв дахин бүтээхийн тулд хамгийн багадаа 6800Hz-ийн дээж авах давтамж шаардлагатай.

16kHz-ийн сонголт: 16kHz-ийн дээж авах давтамжийг ашиглах нь ярианы дууны чанарыг сайжруулж, илүү нарийвчлалтай танилтыг хангадаг. Энэ нь Nyquist-ийн теоремын шаардлагыг хангаад зогсохгүй, ярианы дууны илүү өндөр давтамжуудыг (жишээ нь, 8000Hz хүртэл) хамарч, танилтын нарийвчлалыг нэмэгдүүлдэг.

Тооцоолол:

Хадгалах багтаамж: 16kHz-ийн дээж авах давтамжтай, 16-битийн моно аудио файл нь секунд тутамд 16,000 дээж x 16 бит = 256,000 бит буюу 32KB хэмжээтэй байна.

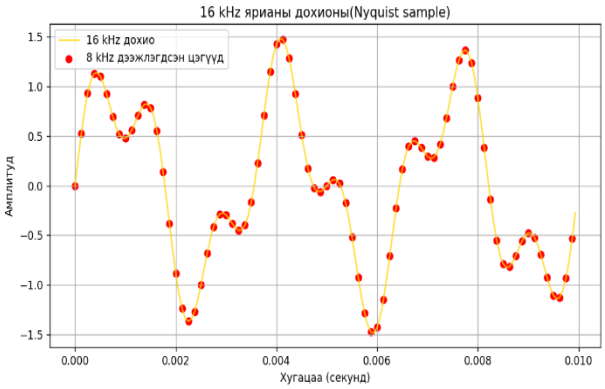
Өгөгдлийн урсгалын хурд: 32KB/секунд нь 256kbps (килобит/секунд) өгөгдлийн урсгалын хурдтай тэнцэнэ.

Эдгээр тооцооллууд нь 16kHz-ийн дээж авах давтамжтай аудио өгөгдөл нь яриа таних системүүдийн хувьд тохиромжтой чанар, өгөгдлийн хэмжээний тэнцвэрийг хангадаг болохыг харуулж байна[12], [13].

GOOGLE-ИЙН ЯРИА ТАНИХ API БОЛОН ЧИМЭГЭ СИСТЕМИЙН ЯРИА ТАНИХ ТЕХНОЛОГИУДЫН ҮЗҮҮЛЭЛТ

ХҮСНЭГТ 1

	Google Speech Recognition API	Chimege Speech to Text
Хэлний дэмжлэг	Монгол хэл зэрэг олон хэлийг дэмжинэ	Гол төлөв монгол хэл рүү чиглэсэн
Нарийвчлал	Дэмжигдсэн хэлнүүдэд өндөр нарийвчлалтай	Монгол хэл, ярианы өндөр нарийвчлалтай байхаар оновчлогдсон
Ашиглалт	Шууд API хэрэглэж болно	Python-той энгийн интеграцчилал; API токен шаардаг
Интернет	Шаардана	Шаардана
Саатал	Бага	Бага
Үнэ	Үнэгүй	Туршилт үнэгүй (100 удаа), нэгжийн үнэ=15₮



1-р зураг. 16 kHz ярианы дохионы(Nyquist sample)

Гурван дугуйт роботын хөдөлгөөн: Хөдөлгөөнт роботын явалтад хамгийн чухал нь дугуй, дугуйны тоо хэмжээ байдаг. Хоёр, гурав, дөрвөн ширхэг дугуй нь өөр өөрийн давуу болон сул талтай. Хоёр дугуйт роботын хөдөлгөөн нь удирдахад хялбар боловч роботын шилжилтэд төвөгтэй, дөрвөн дугуйт роботын хөдөлгөөн нь илүү төвөгтэй удирдлагатай боловч зүтгэх хүч сайтай. Харин гурван дугуйт роботын хувьд хийцээс үл хамаарч бүх дугуй нь гадаргуутай харьцаж байдаг тул явалтын нарийвчлалыг сайжруулдаг.

Гурван дугуйт роботын хувьд дугуй тус бүр хоорондоо 120°-ийн өнцгийн зөрүүтэй байрлах ба бидний роботын дугуй роботын төвтэй харьцангуй 30°, 150°, 270° өнцөгтэй байрласан болно[2], [3]. Робот X,Y тэнхлэгийн дагуу хөдөлнө гэж үзээд роботын шилжилтийг олбол:

$$\begin{bmatrix} x_t \\ y_t \\ \theta_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{t-1} \\ y_{t-1} \\ \theta_{t-1} \end{bmatrix} + \Delta t \begin{bmatrix} V_x \cos(\theta) - V_y \sin(\theta) \\ V_x \sin(\theta) + V_y \cos(\theta) \\ \omega \end{bmatrix};$$

$$p(t) = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix}$$

Үүнд: $V_x -$ X тэнхлэгийн дагуух хурд;

$V_y -$ Y тэнхлэгийн дагуух хурд;

$\omega -$ Өнцөг хурд;

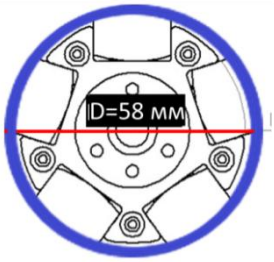
$p -$ Роботын байрлал;

Харин роботын хазайлтын өнцгийг олвол:

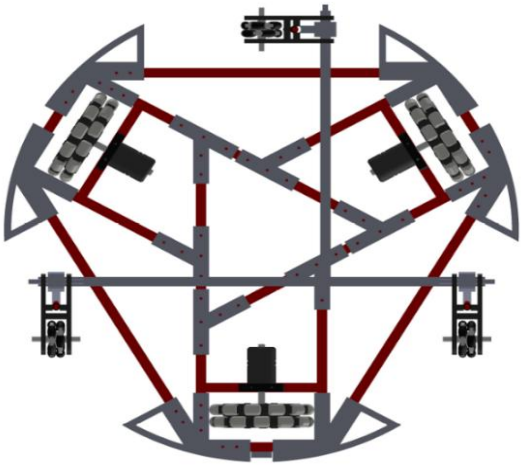
$$\theta = \frac{\left(\left(\frac{Encoder\ pulse_1}{PPR_1}\right)*2\pi r - \left(\frac{Encoder\ pulse_2}{PPR_2}\right)*2\pi r\right)}{594mm} * \frac{180}{\pi}$$

Үүнд: r − Дугуйны радиус(58мм);

θ − Роботын хазайлтын өнцөг;



2-р зураг. Энкодер суурилуулсан одометр тооцоолох омни дугуй



3-р зураг. Роботын моторууд хоорондоо 120°-ийн өнцөг үүсгэж байрлах бөгөөд, X тэнхлэгийн дагуу нэг энкодер, У тэнхлэгийн дагуу хоёр энкодер байрлана.

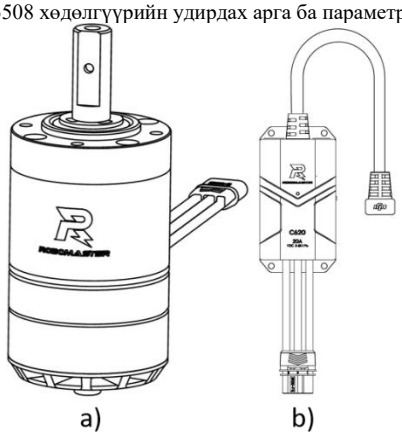
4-р зураг. AMT102-V энкодер

АМТ 102-V ЭНКОДЕРИЙН ҮЗҮҮЛЭЛТҮҮД

ХҮСНЭГТ 2

АМТ 102-V Энкодерийн үзүүлэлтүүд:	
Нэрлэсэн хүчдэл	3.6 - 5.5V
Ажиллах температур	-40° - 100°C
Пулсийн нарийвчлал	48 – 2048 PPR
Пульс хоорондын өнцөг	90°
Өнцгийн нарийвчлал	0.25°

M3508 хөдөлгүүрийн удирдах арга ба параметрүүд:



5-р зураг. a.) M3508 BLDC мотор b.) C620 BLDC моторын хурдны удирдлага

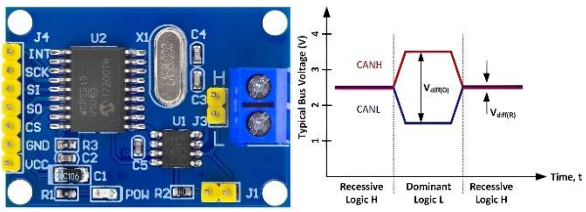
M3508 сойзгүй мотор нь долоон туйлтай ба PWM болон CAN BUS протоколоор удирдагддаг[9].

M3508 BLDC МОТОРЫН ҮЗҮҮЛЭЛТҮҮД

ХҮСНЭГТ 3

M3508 BLDC моторын үзүүлэлтүүд	
Нэрлэсэн хүчдэл	24 V
Эргэлтийн хурд(ачаалалгүй)	482 rpm
Мушгилтын хүч	3N·m
Дээд эргэлтийн хурд(ачаалалтай)	469rpm
Ажиллах температур	0~50° C

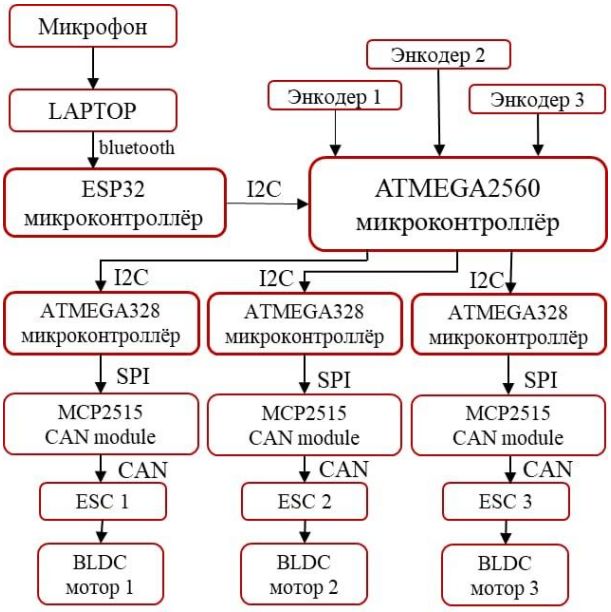
CAN протокол: Controller Area Network(CAN) нь олон төхөөрөмж хооронд мэдээллийг real time-аар солилцох зориулалттай, гадны шуугианд тэсвэртэй, мастер төхөөрөмжгүй, автомашин болон өргөн хүрээнд үйл ажиллагаа явуулдаг үйлдвэрүүдэд ашигладаг протокол юм [4], [14].



6-р зураг. MCP2515 CAN модулийн бүтэц

Уг модуль нь SPI протоколыг CAN BUS протокол болгон хувиргадаг. CAN протокол нь HIGH ба LOW хоёр шугамтай ба уг хоёр шугам давхацсан буюу CANH=2.5V, CANL=2.5V үед 1, CANH=3.5V, CANL=1.5V үед 0 утга өгдөг.

Роботын ажиллах зарчим: Робот хөдөлгөх командыг хүн микрофоноор өгөн орж ирсэн өгөгдлийг компьютер дуу хоолойн танилт хийж ESP32 микроконтроллер луу Bluetooth-ээр сигнал дамжуулна. ATMEGA2560 микроконтроллер ESP32-оос уг сигналыг I2C-ээр хүлээн авч хоолойн командаас хамаарсан моторын удирдлагын мэдээллийг ATMEGA328 контроллёрууд руу дамжуулна. ATMEGA328 контроллёрууд тус бүр моторуудын PID тооцооллыг хийж моторын удирдлагын сигналыг ESC рүү дамжуулна.



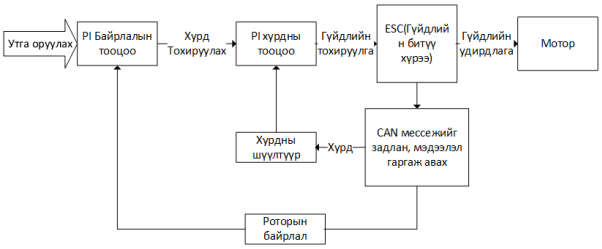
7-р зураг. Роботын ажиллагааны блок схем

M3508 RoboMaster Моторыг C602 ESC ба CAN Протоколоор Удирдах Алгоритм: M3508 RoboMaster моторыг C602 ESC ашиглан хаалттай хүрээтэй удирдлага (closed-loop control) хийдэг бөгөөд CAN протоколоор хяналт, мэдээлэл дамжуулалт явагдана [11]. Энэ алгоритм нь байрлал, хурд, гүйдлийн 3 давхар хяналт дээр суурилсан.

Алгоритмын Бүтэц

Оролт (Input): Байрлал эсвэл хурдны командыг хүлээн авна. PI Байрлалын Хяналт: Одоогийн байрлалтай харьцуулан алдааг тооцоолж, хэрэгтэй хурдыг гаргана. PI Хурдны Хяналт: Тодорхойлсон хурдны утгыг бодит хурдтай харьцуулж, гүйдлийн тохиргоог тодорхойлно. ESC (Гүйдлийн Хяналт): Моторын гүйдлийг тохируулах бөгөөд гүйдлийн битүү хүрээтэй хяналт хийнэ. CAN Протокол: Моторын бодит байрлал, хурд, гүйдлийн мэдээллийг ESC-ээс хүлээн авна. Хяналтын командыг ESC руу дамжуулж, моторыг удирдана. Шүүлтүүр ба

Мэдээлэл Боловсруулалт: Хурдны тогтворжилтыг сайжруулахын тулд шүүлтүүр ашиглана.
Энэхүү алгоритм нь байрлал → хурд → гүйдэл гэсэн гурван үе шаттай хаалттай хүрээтэй удирдлагыг хэрэгжүүлдэг. CAN протоколоор өгөгдөл дамжуулж, PI хяналтын аргаар нарийвчлалыг сайжруулна. Энэ нь роботын хөдөлгөөний нарийвчлал, тогтвортой байдлыг нэмэгдүүлэх оновчтой шийдэл юм.



8-р зураг. M3508 сойзгүй моторыг удирдах блок схем

III. Одометр ашигласан автомат нэг цэг дээр очих роботын туршилт

Туршилтын орчин

Робот: 3 дугуйт омни робот
Одометр: Инкрементэн энкодертэй мотор (192 PPR)
Боловсруулалт: ESP32 (ROS 2 ашиглаж болно)
Тестлэх орон зай: 2м x 2м талбай
Зорилтот цэг: (1.0м, 1.7м)
Роботын хурд: 42.5 см/с
RPM: 54.1

ХҮСНЭГТ 4 PID-ГҮЙ ҮЕИЙН ТУРШИЛТЫН ҮР ДҮН

Туршилтын дугаар	**Эхлэл байрлал (x, y, θ)**	Зорилтот байрлал (x, y) м	Бодит очсон байрлал (x, y) м	Алдаа (Δx, Δy) см	Алдаа (%)
1	(0, 0, 0°)	(1.0, 1.7)	(1.2, 1.9)	(20, 20)	15.5 %
2	(0, 0, 0°)	(1.0, 1.7)	(1.25, 1.95)	(25, 25)	18.0 %
3	(0, 0, 0°)	(1.0, 1.7)	(0.98, 1.76)	(30, 30)	20.5 %
4	(0, 0, 0°)	(1.0, 1.7)	(1.35, 2.05)	(35, 35)	23.0 %
5	(0, 0, 0°)	(1.0, 1.7)	(1.4, 2.1)	(40, 40)	25.5 %

ХҮСНЭГТ 5 pid-ТАЙ ҮЕИЙН ТУРШИЛТЫН ҮР ДҮН

Туршилтын дугаар	Эхлэл байрлал (x, y, θ)	Зорилтот байрлал (x, y) м	Бодит очсон байрлал (x, y) м	Алдаа (Δx, Δy) см	Алдаа (%)
1	(0, 0, 0°)	(1.0, 1.7)	(1.05, 1.8)	(5, 10)	3.73%
2	(0, 0, 0°)	(1.0, 1.7)	(1.0, 1.75)	(0, 5)	1.10%
3	(0, 0, 0°)	(1.0, 1.7)	(0.98, 1.76)	(2, 6)	2.46%
4	(0, 0, 0°)	(1.0, 1.7)	(1.1, 1.79)	(10, 9)	6.97%
5	(0, 0, 0°)	(1.0, 1.7)	(1.01, 1.73)	(1, 3)	1.85%

IV. Дүгнэлт

Уг судалгаагаар Natural Language Processing(NLP) буюу байгалийн хэлний боловсруулалт ашиглан дуу хоолойн өгөгдлийг боловсруулж гурван омни дугуйт суурь дээр явалтыг туршин, командаар удирдагддаг роботыг хийж гүйцэтгэв. Дуу хоолойн боловсруулалт хийхэд орчны чимээ шуугиан, уг авианы дуудлагын өөр өөр байдал зэрэг нь байгалийн хэлний боловсруулалтад ихээхэн нөлөөлж байсан. Сойзгүй моторын удирдлагын хувьд CAN BUS протокол ашигласнаар мэдээлэл дамжуулалтын найдвержилт ба дамжуулалтын хурдыг нэмэгдүүлж, мотор бүрийн роторын механик өнцөг, нэг минут дахь эргэлтийн тоо(RPM)-ны утгыг ашиглан боловсруулалт хийж тогтворжуулах алгоритм(PID)-ыг боловсруулав. Мөн зорилтод цэгт очих команд өгөхөд PID моторын тогтворжуулалттай үеийн алдааны тоо хэмжээ нь тогтворжуулалтгүй удирдлагын үеэс шилжилтийн алдааны утга бага байгааг туршилтын жишээнээс харж болох ба уг алдаа нь LIDAR, IMU эсвэл камерын мэдээллийг нэгтгэснээр багасах болно гэж үзэв[10], [16]. Одоогийн нөхцөлд API буюу Чимэгэ системийн холболттойгоор уг робот маань ажиллаж байгаа тул зайлшгүй сүлжээнд холбогдох шаардлагатай байгаа билээ. Цаашдын нэмэлт сайжруулалт гэвэл PocketSphinx моделийг ашиглах явдал юм. Тухайн моделийн давуу тал нь зөөврийн болон тусгай зориулалтын системүүдэд зориулагдсан хөнгөн хэмжээний, Raspberry PI, ESP32 , зэрэг бага хүчин чадалт төхөөрөмжүүдэд сүлжээний холболтгүй ажиллах боломжийг бүрдээлдэг.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] Kuljic, Bojan, Simon János, and Szakáll Tibor. "Mobile robot controlled by voice." *2007 5th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics*. IEEE, 2007.

[2] Sofwan, Aghus, et al. "Development of omni-wheeled mobile robot based-on inverse kinematics and odometry." *2019 6th International Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE)*. IEEE, 2019.

[3] Palacín, Jordi, Elena Rubies, and Eduard Clotet. "Systematic odometry error evaluation and correction in a human-sized three-wheeled omnidirectional mobile robot using flower-shaped calibration trajectories." *Applied Sciences* 12.5 (2022): 2606.

[4] Park, Tai-Kyu, Vitaly Li, and Hong-Seong Park. "Controller Area Network (CAN) Protocol for Personal Robot Middleware." *Proceedings of the KIEE Conference*. The Korean Institute of Electrical Engineers, 2004.K. Elissa, "Title of paper if known," unpublished.

[5] Matheson, Jennifer L. "The voice transcription technique: use of voice recognition software to transcribe digital interview data in qualitative research." *Qualitative Report* 12.4 (2007): 547-560.

[6] https://must.edu.mn/media/uploads/2023/05/30/emhtegel23-8.pdf

[7] Pandey, Ayush, Siddharth Jha, and Debashish Chakravarty. "Modeling and control of an autonomous three wheeled mobile

[8] https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1504988/CUID/AMT102-V.html

[9] https://www.robomaster.com/en-US/products/components/general/M3508

[10] Karthick Srinivasan, Jason Gu1 "Multiple Sensor Fusion in Mobile Robot Localization"

[11] https://github.com/TsingWei/DJIRobomaster_C620_M3508_controller_Arduino

[12] Meena, Khyati, Shubham Gupta, and Vijay Khare. "Voice controlled wheelchair." *International Journal of Electronics, Electrical and Computational System* 6.4 (2017): 23-27.

[13] Tymchenko, Oleksandr, et al. "Person voice recognition methods." 2020 IEEE Third International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP). IEEE, 2020.

[14] Ran, Li, et al. "Design method of CAN BUS network communication structure for electric vehicle." *International Forum on Strategic Technology 2010*. IEEE, 2010.

[15] Tomasi, Darci Luiz, and Eduardo Todt. "Rotational odometry calibration for differential robot platforms." 2017 Latin American robotics symposium (LARS) and 2017 Brazilian symposium on robotics (SBR). IEEE, 2017.

[16] Sharan, Sudeep, et al. "Implementation and testing of voice control in a mobile robot for navigation." 2019 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM). IEEE, 2019.

ОРЧИН ҮЕИЙН ДЭВШИЛТЭТ ТЕХНОЛОГИ БҮХИЙ РЕНТГЕН ТОНОГ ТӨХӨӨРӨМЖҮҮД

Б.Билгүүн[1], Д.Пүрэвдаш[2]
ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Цахилгаан техникийн салбар
Эмнэлгийн тоног төхөөрөмж ашиглалтын инженер
**Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: blgn.bilguun25@gmail.com[1], dashaa@must.edu.mn[2]*

Хураангуй: **Орчин үеийн дэвшилтэт рентген тоног төхөөрөмж нь анагаах ухааны салбарт өргөн хэрэглэгдэж, оношилгооны нарийвчлалыг нэмэгдүүлж, өвчтөнд учрах цацрагийн ачааллыг бууруулах боломжийг олгож байна. Тоон рентген, 3D дүрслэл, хиймэл оюун ухаан зэрэг шинэ технологиуд нь оношилгооны чанарыг сайжруулж, эрүүл мэндийн үйлчилгээний хүртээмжийг нэмэгдүүлэхэд чухал нөлөө үзүүлж байна. Монгол Улсад рентген технологийн хэрэглээ жил ирэх тусам өсч, тоон төхөөрөмжүүдийн нэвтрэлт нь оношилгооны үр дүнг сайжруулж, эмч нарын шийдвэр гаргалтанд эерэг үр дагавартай болж байна. Гэвч тоног төхөөрөмжийн өндөр өртөг, хөдөө орон нутаг дахь хүртээмжийн асуудал, мэргэжилтнүүдийн хомсдол зэрэг сорилтууд үүссээр байна. Монгол Улсын эрүүл мэндийн бодлогын хүрээнд рентген тоног төхөөрөмжийн дэвшилтэт технологийг өргөнөөр нэвтрүүлэх, санхүүжилтийг сайжруулах, боловсон хүчнийг чадавхжуулах шаардлагатай. Энэ нь рентген тоног төхөөрөмжийн оношилгоо, эмчилгээний хүртээмжийг сайжруулж, эрүүл мэндийн үйлчилгээний чанарыг дээшлүүлэхэд чухал нөлөө үзүүлэх боломжтой юм.**

Түлхүүр үг: Хиймэл оюун ухаан, 3D дүрслэл, бага туяаны ачаалал, анагаах ухаан.

I. ҮНДСЭН ОЙЛГОЛТ

Рентген тоног төхөөрөмжүүдийн хөгжил нь эрүүл мэндийн салбарт чухал. Оношилгооны нарийвчлал сайжирснаар өвчнийг эрт илрүүлэх боломж нэмэгдэж, эмчилгээний үр дүн дээшилж байна. Монгол Улсад энэ төрлийн тоног төхөөрөмжийн хөгжил хурдацтай өрнөж, дэвшилтэт технологиуд нэвтэрч байна. Үүний зэрэгцээ, рентген тоног төхөөрөмжүүдийн хэрэглээний аюулгүй байдал, хэт туяаны нөлөөлөл, зөөврийн төхөөрөмжүүдийн хүртээмж зэрэг асуудлуудыг судлах нь чухал ач холбогдолтой юм.

II. ОНОЛЫН ЕРӨНХИЙ ОЙЛГОЛТ

Рентген хоолой

- Үндсэн бүтэц: Рентген хоолой нь вакуумтай битүү шилэн сав бөгөөд дотор нь катод ба анод байрладаг. Катод нь электрон үүсгэх халаагууртай, анод нь өндөр температурт тэсвэртэй материалаар (ихэвчлэн вольфрам) хийгдсэн байдаг.
- Үйл ажиллагаа: Катодыг халаахад электронууд ялгарч, өндөр хүчдэлийн нөлөөгөөр анод руу хурдтай хөдөлдөг. Анод дээр мөргөлдөх үед кинетик энерги нь дулаан болон рентген туяа болж хувирдаг. Үүний 99% нь дулаан болж, зөвхөн 1% нь рентген туяа болж ялгардаг [1].

1-р зураг. Рентген хоолой

Дижитал рентген (Digital Radiography - DR) Дижитал рентген технологи нь уламжлалт хальсанд суурилсан системийг орлож, дүрслэлийг өндөр нарийвчлалтайгаар шууд компьютерт дамжуулах боломжтой. Энэ нь оношилгооны хурд болон нарийвчлалыг нэмэгдүүлж, хорт туяаны ачааллыг багасгадаг.

Шийдвэрлэх чадвар: 3–5 мегапиксел (MP)

Тунгийн хэмжээ: Фильмэн рентгентэй харьцуулахад 30-50% бага.

Давуу тал: Шууд дүрслэл, өндөр динамик хүрээ (wide dynamic range), бага цацрагийн тунг ашигладаг.

3D болон 4D дүрслэлийн системүүд Сүүлийн үеийн рентген төхөөрөмжүүд нь 3D болон 4D технологийг ашиглаж, өвчтөний эрхтэн тогтолцоог илүү нарийвчлалтай харах боломж олгож байна. Энэ нь эмч нарт мэс засал болон эмчилгээний төлөвлөгөөг оновчтой боловсруулах боломжийг олгодог.

3D дүрслэл: КТ (CT), MRI, Конус туяаны КТ (CBCT) ашиглан бүтээдэг.

4D дүрслэл: Бодит цагийн хөдөлгөөнтэй дүрслэл (жишээ нь, зүрхний хэмнэл, амьсгалын хөдөлгөөн)

Програмчлал: Томографийн системүүд (CT, CBCT) болон эхо дүрслэлд хэрэглэгддэг.

Хиймэл оюун ухаан ба автомат оношилгоо

Орчин үеийн рентген төхөөрөмжүүд хиймэл оюун ухааны алгоритмыг ашиглан дүрслэлийг автоматаар дүгнэх, эмч нарт оношилгооны явцыг хөнгөвчлөх боломжийг олгож байна. Хиймэл оюун ухаан нь дүрслэлийн нарийвчлалыг сайжруулж, эмчийн алдаа гарах магадлалыг багасгадаг.

Хэрэглээ: Уушгины хатгаа, хорт хавдар, ясны хугарал илрүүлэх гэх мэт.

Өгөгдлийн хэмжээ: 100,000+ рентген зургийн датагаар AI сургалт хийгддэг.

Алдаа бууруулах хүчин зүйл: Машин сургалтын алгоритмуудын нарийвчлал 85–95% байдаг [2].

Бага тунгийн рентген технологи Рентген туяаны хэт их цацраг нь эрүүл мэндэд сөрөг нөлөө

үзүүлдэг учраас бага тунгийн рентген технологи хөгжиж байна. Шинэ технологиуд нь өвчтөнд учрах хорт туяаны хэмжээг багасган, дүрслэлийн чанарыг хадгалах боломжийг бүрдүүлж байна.

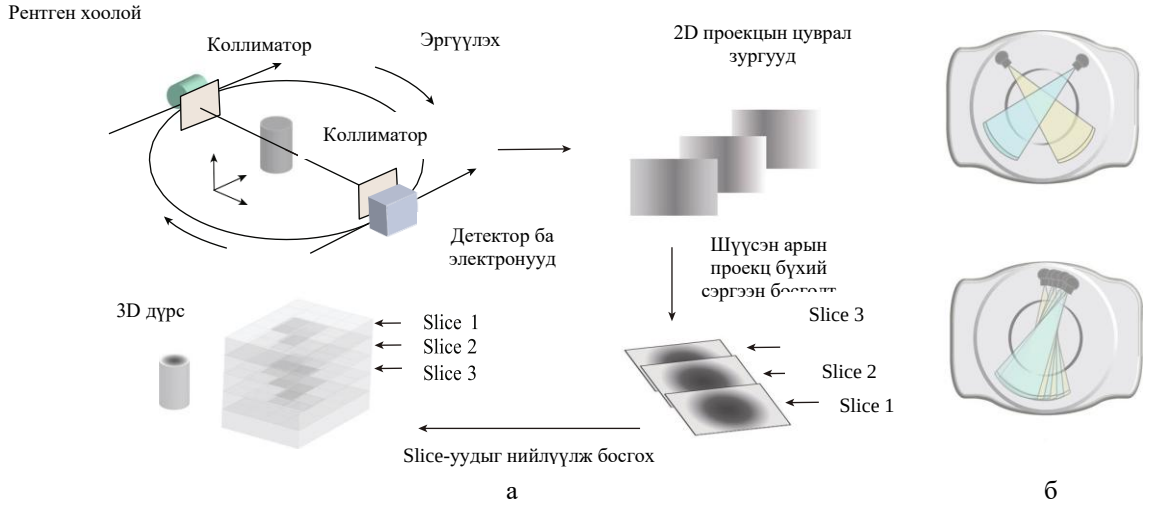
Тунгийн бууралт: Стандарт рентгентэй харьцуулахад 50–80% бага тунг ашигладаг.

Хэрэглээ: Уушгины хорт хавдрын эрт илрүүлэлт, хүүхдийн дүрслэл гэх мэт.

Технологи: Флюоресцент детекторууд, AI суурилсан дуу чимээ багасгах алгоритм [3].

Компьютер томографи (CT) Орчин үеийн компьютер томографийн технологи нь олон зүсэлттэй (multi-slice) системийг ашиглаж, өндөр нарийвчлалтай, 3D дүрслэл үүсгэх боломжийг олгож байна. Ингэснээр өвчтөнд оношилгооны чанар сайжирч, мэс заслын өмнөх төлөвлөгөө илүү нарийвчлалтай болдог.

Зураг 2. Компьютер томографи аппарат



Зураг 3. CT-ийн загварчлал. а- CT сканнердах ба дүрслэлийн ажлын зарчмыг бүдүүвч. Объектоор нэвтэрч буй collimated рентген фотонуудыг рентген үүсгүүрийн эсрэг талд байрлуулсан рентген детектор ашиглан бүртгэдэг. Ердийн CT шинжилгээнд хатуу төлөвт детекторууд нь рентген үүсгүүртэй синхроноор объектын эргэн тойронд эргэлдэж, хэд хэдэн 2D проекцын зургийг гаргадаг. Дараа нь шүүсэн арын проекцоор сэргээн засварласны дараа 2D зүсмэлийн зургийг авдаг. Эцэст нь 3D томографийн дүрсийг компьютерийн алгоритмаар сэргээдэг. б-Хос энергийн CT ба олон энергитэй CT)-ийн бүтэц. Хос энергитэй CT буюу олон энергитэй CT нь хоёр буюу олон тооны рентген үүсгүүрээр тоноглогдсон бөгөөд энэ нь хоёр буюу олон энергийн түвшний рентген туяаны дор зургийг нэгэн зэрэг авах боломжийг олгодог.

Маммографийн технологи нь хөхний хорт хавдрыг эрт илрүүлэхэд чухал ач холбогдолтой. Орчин үеийн дижитал маммографи нь бага тунгийн цацраг ашиглаж, илүү тод, өндөр нарийвчлалтай дүрслэл гаргах боломжийг бүрдүүлдэг.

Нэмэлт давуу тал болгон томографийн технологи нь рентген туяаны микроскоптой холбогдох үед нано-микро хэмжээтэй биологийн организмын 3D дүрслэл хийх боломжтой. Энэхүү хосолсон технологи нь богино долгионы урттай рентген фотонуудыг ашигладаг тул ердийн микроскопын дифракцийн хязгаарыг даван туулах боломжийг олгодог. Энэ онцлог нь эсийн нягтралтайгаар in vivo эсвэл ex vivo биологийн дээжийн бүтцийн нарийвчилсан мэдээллийг тодруулахад түүний хүчийг харуулж байна [4].

4-р зураг. Маммографи аппарат

- Нарийвчлал: 50–100 мкм (микрон)
- Тунгийн хэмжээ: 0.4–1 мЗв
- Технологи: 2D, 3D томосинтез, хиймэл оюун ухаан ашигласан оношилгоо

Хэрэглээ: Хөхний хорт хавдрын эрт илрүүлэлт

Ангиографи: Ангиографийн технологи нь судасны тогтолцоог нарийвчлан судлахад ашиглагддаг. Шинэ үеийн ангиографийн системүүд нь бага тунгийн цацраг ялгаруулж, 3D болон динамик дүрслэлээр судасны бүтэц, нарийсал, бөглөрөл зэргийг илүү тодорхой харуулах боломжтой болсон.

5-р зураг. Ангиографи аппарат

- Дүрслэл: Судсанд тодосгогч бодис шахаж рентгенээр харах
- Шийдвэрлэх чадвар: 150–200 мкм
- Тунгийн хэмжээ: 5–20 мЗв
- Хэрэглээ: Зүрх судасны өвчин, тархины судасны оношилгоо [4].

Харалтын рентген (Fluoroscopy) Энэхүү технологи нь бодит цагийн рентген дүрслэл гаргах боломжтой бөгөөд мэс заслын явцад болон хоол боловсруулах замын судалгаанд өргөн хэрэглэгддэг. Орчин үеийн харалтын рентген төхөөрөмжүүд нь өндөр нарийвчлалтай, бага тунгийн системийг ашиглан өвчтөнд үзүүлэх нөлөөллийг багасгаж байна.

6-р зураг. Харалтын рентген аппарат

Зураг авах хурд: 10–30 кадр/сек

Тунгийн хэмжээ: 1–10 мЗв (протокол хамаарна)

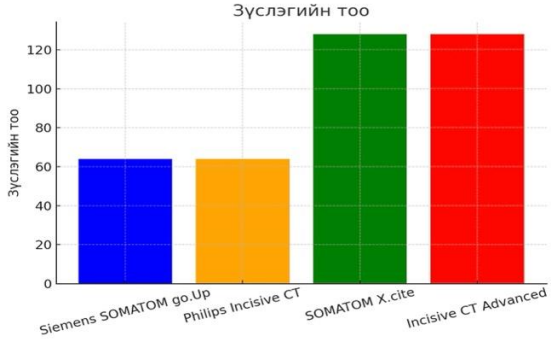
Хэрэглээ: Ходоод гэдэсний замын оношилгоо, судасны мэс ажилбарт [5].

Техник хангамжийн дэвшил

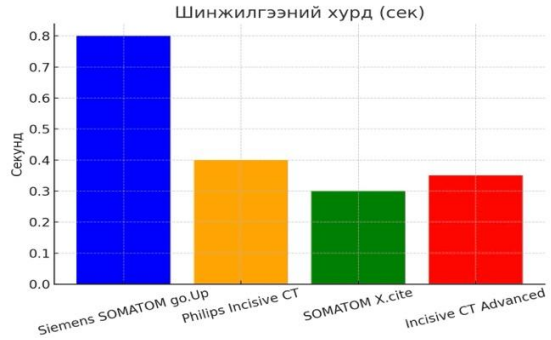
- Дижитал детектор – Хуучин аналог системүүдээс ялгаатай нь, дижитал детекторууд дүрслэлийг өндөр нарийвчлалтайгаар хүлээн авч, мэдээллийг шууд компьютер руу дамжуулдаг.
- Зөөврийн болон хөнгөн жинтэй рентген төхөөрөмжүүд – Хөдөө орон нутаг, яаралтай тусламжийн нөхцөлд хэрэглэхэд тохиромжтой зөөврийн рентген төхөөрөмжүүд хөгжиж байна.
- Бага тунгийн технологи – Шинэ загварын рентген төхөөрөмжүүд нь өвчтөний туяаны ачааллыг 30-50%-иар бууруулах технологийг ашиглаж эхэлсэн.
- 3D болон 4D дүрслэл – Стандарт 2D дүрслэлээс илүү гүнзгий харагдахуйц, олон өнцгөөс дүрслэх боломжтой технологи хөгжиж байна.

Программ хангамжийн дэвшил

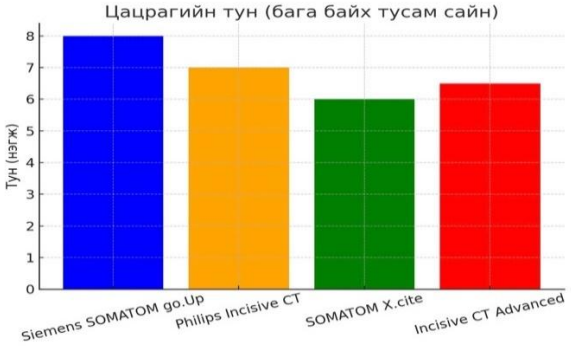
- *Хиймэл оюун ухаан (AI)-д суурилсан оношилгоо* – AI алгоритмууд нь рентген зургуудыг автоматаар анализ хийж, эмч нарт онош тодорхойлоход тусалдаг.
- *Мэдээллийн үүлэн технологи* – Дүрслэл, оношилгооны мэдээллийг эмнэлгүүд хооронд хуваалцах, алсаас хяналт тавих боломжийг олгодог.
- *Оношилгооны программ хангамжийн сайжруулалт* – Сүүлийн үеийн рентген төхөөрөмжүүд нь зураг боловсруулах, нарийвчлалыг нэмэгдүүлэх, эд эрхтний бүтцийг илүү тодорхой харуулах боломжтой программ хангамжтай болсон [6].



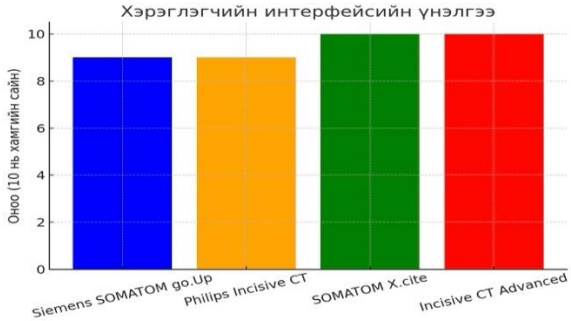
а



б



в



г

7-р зураг. CT аппаратын дэвшлийн үр дүн

Энэ графикууд нь Siemens, Philips, SOMATOM, Incisive брэндийн CT төхөөрөмжүүдийн гол үзүүлэлтүүдийг харьцуулж байна.

а-*Зүслэгийн тоо- SOMATOM X.cite (128) болон Incisive CT Advanced (128) нь хамгийн өндөр зүслэгийн тоотой. Siemens SOMATOM go.Up (64) болон Philips Incisive CT (64) нь бага зэрэг хязгаарлагдмал зүслэгийн тоотой. Зүслэгийн тоо их байх тусам нарийвчлалтай зураг авах боломжтой, ялангуяа жижиг бүтэцтэй эрхтнүүдийг шинжлэхэд чухал ач холбогдолтой.*

б- Шинжилгээний хурд (секунд)- SOMATOM X.cite (0.3 сек) хамгийн хурдан шинжилгээ хийж байна. Incisive CT Advanced (0.35 сек) ч мөн өндөр хурдтай. Philips Incisive CT (0.4 сек) болон Siemens SOMATOM go.Up (0.8 сек) бага зэрэг удаан. Шинжилгээний хурд бага байх тусам өвчтөнд илүү тухтай, үр дүн гаргах хугацаа богино байдаг.

в- Цацрагийн тун (бага байх сайн) -SOMATOM X.cite (6 нэгж) хамгийн бага цацрагийн тун ашиглаж байна. Incisive CT Advanced (6.5 нэгж) бага тунтай. Philips Incisive CT (7 нэгж) болон Siemens SOMATOM go.Up (8 нэгж) харьцангуй өндөр тун ашиглаж байна. Цацрагийн тун бага байх тусам өвчтөнд учрах эрсдэл багасдаг бөгөөд энэ нь хүүхдүүд болон олон дахин шинжилгээ хийх шаардлагатай өвчтөнүүдэд онцгой чухал юм.

г- Хэрэглэгчийн интерфейсийн үнэлгээ (10 нь хамгийн сайн)- SOMATOM X.cite (10 оноо) болон Incisive CT Advanced (10 оноо) хамгийн хэрэглэхэд хялбар системтэй. Philips Incisive CT (9 оноо) болон Siemens SOMATOM go.Up (9 оноо) мөн хэрэглэгчдэд ээлтэй интерфейс бүхий төхөөрөмжүүд байна. Хэрэглэгчийн интерфейс сайжирснаар операторууд алдаа гаргах магадлал багасч, оношилгоо илүү үр дүнтэй болдог [7].

Аппарат тус бүрээр дэвшилтүүдийн үр дүн:

CT

- Нарийвчлалын өсөлт: ~60%
- Туяаны тунгийн бууралт: ~50%
- Оношилгооны хурдны өсөлт: ~70%
- Шилдэг сайжруулалттай төхөөрөмж: Оношилгооны хурд хамгийн өндөр өссөн байна.

Portable X-ray (Зөөврийн рентген)

- Нарийвчлалын өсөлт: ~40%
- Туяаны тунгийн бууралт: ~60%
- Оношилгооны хурдны өсөлт: ~65%
- Давуу тал: Туяаны тунгийн бууралт, оношилгооны хурд сайжирсан.

Fluoroscopy (Харалтын рентген)

- Нарийвчлалын өсөлт: ~50%
- Туяаны тунгийн бууралт: ~40%
- Оношилгооны хурдны өсөлт: ~55%
- Онцлог: Харьцангуй тэнцвэртэй сайжруулалттай.

Angiography (Ангиографи)

- Нарийвчлалын өсөлт: ~55%
- Туяаны тунгийн бууралт: ~45%
- Оношилгооны хурдны өсөлт: ~60%
- Давуу тал: Бүх үзүүлэлтээр дунджаас дээш сайжруулалттай.

Mammography (Маммографи)

- Нарийвчлалын өсөлт: ~60%
- Туяаны тунгийн бууралт: ~55%
- Оношилгооны хурдны өсөлт: ~50%
- Онцлог: Нарийвчлал болон туяаны тунгийн бууралт сайн байна.

Dental X-ray (Шүдний рентген)

- Нарийвчлалын өсөлт: ~50%
- Туяаны тунгийн бууралт: ~45%
- Оношилгооны хурдны өсөлт: ~40%

Хамгийн бага сайжруулалттай төхөөрөмж: Гэхдээ хялбаршуулсан оношилгоонд давуу талтай [8].

Монгол Улс дахь рентген технологийн судалгааны байдал. Монгол Улсад рентген технологийн хэрэглээ нэмэгдэж, эмнэлгийн оношилгоо болон үйлдвэрлэлийн хяналтын чиглэлээр судалгаанууд хийгдэж байна. Сүүлийн жилүүдэд дотоодын эмнэлгүүд дижитал рентген төхөөрөмжүүдийг нэвтрүүлж, оношилгооны үр дүнг сайжруулж байна.

Монгол Улсын эрүүл мэндийн байгууллагуудын рентген технологийн хөгжлийн түвшинг харуулсан статистик үзүүлэлтүүд:

8-р зураг. Монгол Улс дахь рентген тоног төхөөрөмжийн судалгаа

- 2018-2023 оны хооронд рентген оношилгооны тоо жилд дунджаар 15%-иар өссөн.
- Дижитал рентген төхөөрөмжүүдийн ашиглалтын хувь 2018 онд 45% байсан бол 2023 онд 78%-д хүрсэн.
- Хөдөө орон нутгийн эмнэлгүүдэд зөөврийн рентген төхөөрөмжүүд нэвтэрч, оношилгооны хүртээмж сайжирсан.
- Компьютер томографи (CT) болон MRI аппарат бүхий эмнэлгүүдийн тоо 2018 онд 10 байсан бол 2023 онд 25 болж нэмэгдсэн [9].

CT:

- Үйлчлүүлэгчдийн тоо: 2020 онд 5678, 2021 онд 9396, 2022 онд 10356 үйлчлүүлэгч CT шинжилгээнд хамрагдсан.

Рентген аппарат:

- Үйлчлүүлэгчдийн тоо: 2020 онд 20448, 2021 онд 31246, 2022 онд 35547 үйлчлүүлэгч рентген шинжилгээнд хамрагдсан [10].

Эдгээр тоон үзүүлэлтүүд нь оношилгооны дэвшилтэт технологийн хэрэглээ жилээс жилд нэмэгдэж байгааг харуулж байна. Тухайлбал: CT болон MRI шинжилгээнд хамрагдсан үйлчлүүлэгчдийн тоо 2020 оноос 2022 он хүртэлх хугацаанд тасралтгүй өссөн байна. Мөн улсын төсвийн хөрөнгө оруулалтаар эрүүл мэндийн байгууллагуудын тоног төхөөрөмжийн шинэчлэлд ихээхэн анхаарал хандуулж байна. Тухайлбал: 2018-2019 онд Улаанбаатар хотын Баянгол дүүрэгт соронзон резонанс томограф (MRI), ангиографийн тоног төхөөрөмжийг суурилуулахад 4.1 тэрбум төгрөгийн төсөв зарцуулсан байна [11], [12].

Монгол Улсын эрүүл мэндийн салбарт рентген технологийн хэрэглээг өргөжүүлэхийн тулд дараах чиглэлээр судалгаа хийгдэж байна. Үүнд:

- Рентген технологийн туяаны ачааллыг багасгах аргачлал
- Хиймэл оюун ухааны тусламжтай оношилгооны нарийвчлалыг сайжруулах
- Зөөврийн болон хямд өртөгтэй рентген төхөөрөмжийг хөгжүүлэх [13].

Монгол Улсад рентген технологийн хэрэглээ нэмэгдэж байгаа нь эрүүл мэндийн үйлчилгээг сайжруулах гол хүчин зүйлсийн нэг болж байна. Судалгааны дүнгээс харахад рентген төхөөрөмжийн хүртээмжийг нэмэгдүүлэх, шинэ технологиудыг нэвтрүүлэхэд анхаарах шаардлагатай байна [14].

Өмнөх ба одоогийн байдал

Уламжлалт рентген төхөөрөмжүүд цацрагийн тунг гаргахдаа нэг төрлийн хэмжээгээр ажилладаг байсан бөгөөд энэ нь зарим тохиолдолд шаардлагагүй өндөр тунд хүргэдэг байв. Харин AI технологийг ашигласан орчин үеийн төхөөрөмжүүд нь өвчтөний биеийн бүтэц, өвчний төрөл зэргээс хамааран цацрагийн тунг яг тааруулан тохируулдаг. Энэ нь цацрагийн тунг 30-50% хүртэл бууруулах боломжийг олгож, өвчтөний эрүүл мэндэд үзүүлэх сөрөг нөлөөг багасгаж байна.

Дижитал рентген (Digital Radiography - DR)

Хиймэл оюун ухаан (AI)-ны интеграц: Рентген зургийн оношилгоонд AI ашиглан эмчийн ажлыг хөнгөвчилж, оношилгооны нарийвчлалыг сайжруулж байна.

3D болон 4D дүрслэл

3D принтинг: Эдгээр дүрслэлийн өгөгдлийг ашиглан 3D хэвлэлтээр өвчтөний анатомийн загвар гаргаж, мэс заслын төлөвлөлтийг сайжруулж байна.

4D дүрслэл: Цаг хугацааны өөрчлөлтийг харуулж, зүрхний болон бусад эрхтний хөдөлгөөнийг бодит цагт хянах боломжтой болсон.

Хиймэл оюун ухаан ба автомат оношилгоо

AI суурилсан оношилгоо: Уушгины хатгаа, хорт хавдар зэрэг өвчнийг эрт илрүүлэхэд AI ашиглаж, оношилгооны хурд, нарийвчлалыг нэмэгдүүлж байна.

Бага тунгийн рентген технологи

Дижитал томосинтез: Бага тунгаар олон давхаргат дүрслэл үүсгэж, дүрслэлийн чанарыг сайжруулж байна.

CT

Спектрал CT: Өөр өөр энергийн түвшинд дүрслэл авч, эдийн ялгааг нарийвчлан тодорхойлж байна.

Маммографи

3D томосинтез: Хөхний эдийг давхарга бүрээр дүрслэн, хорт хавдрын эрт илрүүлэлтийг сайжруулж байна.

Ангиографи

Олон зүслэгт CT ангиографи: Судасны нарийвчилсан дүрслэл авч, оношилгооны чанарыг нэмэгдүүлж байна.

Харалтын рентген (Fluoroscopy)

Дижитал флюороскопи: Дүрслэлийн чанарыг сайжруулж, цацрагийн тунг бууруулж байна.

Шинээр нэвтэрч буй орчин үеийн рентген тоног төхөөрөмжүүдийн дэвшилтэт технологийн нийтлэг онцлог:

Хиймэл оюун ухаан (AI) интеграцчилал- Зураг боловсруулалтын нарийвчлалыг сайжруулж, оношлогооны алдааг багасгадаг.

Туяаны тунгийн бууралт- Бага тунгаар өндөр чанартай дүрслэл гаргах шинэ алгоритмууд хөгжиж байна.

Хурдтай оношилгоо ба 3D дүрслэл- Оношилгооны хурд нэмэгдсэнээр эмчилгээг илүү шуурхай эхлүүлэх боломж бүрдэж байна.

Зөөврийн болон утасгүй төхөөрөмжүүд- Хөнгөн, авсаархан рентген төхөөрөмжүүд хөгжиж, эмнэлгийн бус нөхцөлд ч ашиглах боломжтой болсон. Телемедицины хөгжилтэй уялдан хөдөө орон нутаг, алслагдсан бүсэд оношлогооны хүртээмж нэмэгдэж байна.

Эдгээр технологиудыг ашиглахад тулгарч буй бэрхшээлүүд:

- Өндөр өртөг, санхүүжилтийн асуудал- Шинэ технологи бүхий аппаратуудын үнэ өндөр тул хөгжиж буй орнуудын эмнэлгүүдэд нэвтрүүлэхэд хүндрэлтэй.
- Хүний нөөцийн бэлэн байдал- Шинэ технологи дээр ажиллах чадвартай эмч, техникчдийн сургалт шаардлагатай. AI болон автомат оношилгооны системүүдийг бүрэн ашиглахад туршлага дутмаг байна.
- Мэдээллийн аюулгүй байдал- Дижитал рентген зураг, өвчтөний хувийн мэдээллийг нууцлах шаардлагатай. AI ашиглахад эмнэлгийн мэдээлэл алдагдах эрсдэл нэмэгддэг.
- Техникийн нийцтэй байдал- Одоо ашиглаж буй төхөөрөмжүүдтэй уялдуулах, дата хадгалах, боловсруулах асуудлууд тулгарч байна. Эмнэлгийн мэдээллийн системүүд (PACS) шинэ төхөөрөмжүүдийг дэмжихгүй байх тохиолдол гардаг.

Шинэ технологийг дэлгэрүүлэх, сонголт хийхэд анхаарах зүйлс:

Санхүүжилтийн боломж, урт хугацааны үр ашиг- Өндөр өртөгтэй аппаратыг хэрэгцээ, ашиглалтын давтамжийг тооцон сонгох.

Хүний нөөцийн чадамж- ухайн тоног төхөөрөмжийг бүрэн ашиглах чадвартай боловсон хүчнийг бэлтгэх, сургалт зохион байгуулах.

Хэрэглээний онцлог- Эмнэлгийн хэрэгцээ, өвчтөний урсгалд тохирсон төхөөрөмжийг сонгох.

Технологийн ирээдүйд чиглэх байдал- Одоо байгаа төхөөрөмжүүдийг сайжруулах боломжтой эсэхийг судлах. Удаан хугацаанд өрсөлдөх чадвар бүхий, шинэчлэгдэх боломжтой технологийг сонгох [15].

Ирээдүйн чиг хандлага

Рентген технологийн хөгжил цаашид улам хурдацтай өрнөх төлөвтэй байна. Хиймэл оюун ухааны тусламжтайгаар оношилгооны нарийвчлал нэмэгдэхээс гадна, хэт бага тунгийн технологи хөгжиж, өвчтөнд учрах эрсдэл буурна. Мөн зөөврийн, хөнгөн, өндөр хүчин чадалтай рентген төхөөрөмжүүд нэвтэрч, хэрэглээний хүрээ тэлэх боломжтой [16].

ДҮГНЭЛТ

Орчин үеийн рентген тоног төхөөрөмж нь оношилгооны нарийвчлалыг нэмэгдүүлж, өвчтөнд учрах цацрагийн ачааллыг бууруулах боломжийг олгож байна. Тоон рентген, 3D дүрслэл, хиймэл оюун ухаан зэрэг шинэ технологиуд оношилгооны чанарыг сайжруулж, эрүүл мэндийн үйлчилгээний хүртээмжийг нэмэгдүүлэхэд чухал үүрэгтэй. Монгол Улсад рентген тоног төхөөрөмжийн хэрэглээ өсч тоон төхөөрөмжүүд нь эмч нарын шийдвэр гаргалтанд эерэг үр дагавартай болж байна. Гэсэн хэдий ч тоног төхөөрөмжийн өндөр өртөг, хөдөө орон нутагт хомсдол, мэргэжилтнүүдийн дутагдал зэрэг сорилтууд бий. Монгол Улсын эрүүл мэндийн бодлогын хүрээнд рентген тоног төхөөрөмжийн дэвшилтэт технологийг нэвтрүүлэх, санхүүжилтийг нэмэгдүүлэх, боловсон хүчнийг чадавхжуулах, дотоодын судалгааг өргөжүүлэх шаардлагатай. Эдгээр арга хэмжээг хэрэгжүүлэх нь рентген тоног төхөөрөмжийн оношилгоо, эмчилгээний хүртээмжийг сайжруулж, эрүүл мэндийн үйлчилгээний чанарыг дээшлүүлэхэд чухал нөлөө үзүүлэх болно.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] Radiopaedia (Анагаах ухааны рентген зургийн онлайн мэдээллийн сан): www.radiopaedia.org

[2] National nstitutes of Health (NIH), "AI in Medical Imaging," (203).

[3] European Society of Radiology (ESR), "Radiation Dose Reduction with AI," (2022)

[4] University of Tokyo, "Optimized AI-based X-ray Analysis," (2023)

[5] Samei, E., & Flynn, M. J "*Advances in Digital Radiography*. Radiographics" (2003).

[6] ICRP. "*The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. Elsevier" (2007).

[7] European Society of Radiology (ESR). "Low-Dose Imaging and AI Integration in Radiology," *Insights into Imaging*, 11, 108. (2020).

[8] European Society of Radiology (ESR). "AI in Radiology: Impact and Future Directions." *Insights into Imaging*, 11(1), 101. (2020).

[9] Монгол улсын эрүүл мэндийн яам. "*Рентген технологийн судалгаа ба хөгжлийн тайлан"* (2023)

[10] Монгол Улсын Эрүүл мэндийн яам. *Эмнэлгийн мэдээллийн систем ба дүрс оношилгооны стандарт*. Дэлхийн Эрүүл Мэндийн Байгууллага (2017).

[11] Хавдар судлалын үндэсний төв. *Монгол Улсад зонхилон тохиолдох хавдрын оношилгоо, эмчилгээний шинэ технологийн зардал, үр ашгийн судалгаа*. Эрүүл мэндийн хөгжлийн төв (2023).

[12] Эрүүл мэндийн хөгжлийн төв. *Эрүүл мэндийн байгууллагуудын оношилгооны тоног төхөөрөмжийн ашиглалтын судалгаа*. Эрүүл мэндийн хөгжлийн төв (2022).

[13] Монгол Улсын Эрүүл мэндийн яам. *Эрүүл мэндийн статистикийн эмхэтгэл*. Эрүүл мэндийн хөгжлийн төв (2022).

[14] Эрүүл мэндийн хөгжлийн төв. *Өндөр өртөгтэй оношилгооны тоног төхөөрөмжийн ашиглалт, хэрэглээний судалгаа*. Эрүүл мэндийн хөгжлийн төв (2022).

[15] European Society of Radiology (ESR). *Artificial Intelligence in Radiology: Current Applications and Future Trends*. ESR Journal. (2023).

[16] Hall, E. J., & Giaccia, A. J. *Radiobiology for the Radiologist (8th ed.).* Lippincott Williams & Wilkins (2018).

ШУГАМАН ХУРДАСГУУРЫН ТЕХНИК ХАНГАМЖ

Б.Нандинзаяа[1], Д.Пүрэвдаш[2]
Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Цахилгаан техникийн салбар
**Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: Nandinzaya0712@gmail.com[1], dashaa@must.edu.mn[2]*

Хураангуй: **Шугаман хурдасгуур нь цахилгаан соронзон долгионоор цэнэглэгдсэн бөөмсийг хурдасгах төхөөрөмж бөгөөд эрүүл мэндийн салбарт хорт хавдрыг өндөр нарийвчлалтай тунгаар эмчлэхэд өргөн хэрэглэгддэг. Энэхүү өгүүлэлд шугаман хурдасгуурын техник хангамжийн үндсэн бүрэлдэхүүн хэсгүүд, тэдгээрийн ажиллагаа, эрүүл мэндийн салбарт ашиглах онцлогуудыг авч үзсэн болно. Шугаман хурдасгуур нь электрон үүсгүүр, хурдасгагч хоолой, бичил долгион үүсгүүр, хөргөлтийн систем, хяналтын систем, цацрагийн төхөөрөмж зэрэг үндсэн хэсгүүдээс бүрдэнэ. Электронууд үүсгүүрээс ялгарч, хурдасгагч хоолойд бичил долгионоор хурдасгагдаж, дараа нь цацрагийн төхөөрөмжөөр дамжин өвчтөний биед чиглүүлэгддэг. Хяналтын систем нь бүх үйл явцыг автоматаар удирдан, аюулгүй байдлыг хангадаг. Орчин үеийн шугаман хурдасгуур нь дэвшилтэт технологиудыг ашиглан эмчилгээний үр дүнг сайжруулж, эрүүл эдийг хамгаалах боломжийг бүрдүүлдэг. Тиймээс шугаман хурдасгуурыг судлах нь хавдрын эмчилгээний үр дүнг сайжруулж, эмчилгээний нарийвчлал, аюулгүй байдлыг нэмэгдүүлэхээс гадна шинэ технологи, программ хангамжийн шийдлүүдийг боловсронгуй болгоход чухал ач холбогдолтой.**

Түлхүүр үг: ***Техник үзүүлэлт, цацрагийн эмчилгээ, хорт хавдар, автоматжуулалт, эрүүл мэнд.***

I. УДИРТГАЛ

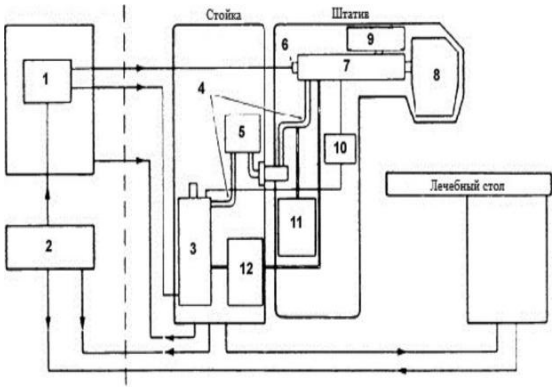
Шугаман хурдасгуур нь цахилгаан соронзон долгионоор бөөмсийг хурдасгах замаар өндөр энергийн цацраг үүсгэн, хорт хавдрын эсийг устгахад ашиглагддаг төхөөрөмж юм. Энэхүү технологи нь хорт хавдрын туяа эмчилгээний нэг болж, өвчтөний биед мэс хүргэхгүйгээр, эрүүл эд эсийг аль болох бага гэмтээх байдлаар хавдрын эсийг устгах давуу талтай.

Монгол Улсын хэмжээнд шугаман хурдасгуурын хэрэглээ харьцангуй хязгаарлагдмал бөгөөд Хавдар судлалын үндэсний төвд гуравхан шугаман хурдасгуур ашиглагдаж байна. Эдгээр төхөөрөмжийн техник үзүүлэлт, хүчин чадал, өвчтөнд үзүүлэх эмчилгээний үр нөлөөний талаар нарийвчилсан судалгаа хийгдээгүй бөгөөд тус технологийн хүртээмж, ашиглалтын үр ашиг, эвдрэл гэмтлийн шалтгаан, стандарт шаардлагын хангалт зэрэг олон асуудал анхаарал татаж байна.

Монгол Улсад ашиглагдаж буй шугаман хурдасгуурудын техник хангамж, үндсэн бүрэлдэхүүн хэсгүүд, тэдгээрийн ажиллагааны онцлогийг тодорхойлох, олон улсын жишигтэй харьцуулан дүн шинжилгээ хийхэд зорилго оршино. Иймд энэхүү өгүүлэл нь шугаман хурдасгуурын үр ашиг, техник үйлчилгээ, стандарт шаардлага хангалт, цаашдын хөгжүүлэлтийн чиглэл зэрэг олон талт асуудлыг хөндөж, цацраг туяа эмчилгээний хүртээмжийг сайжруулахад хувь нэмэр оруулах онол, практикийн судалгааны ажил болох юм.

II. ҮНДСЭН ХЭСЭГ

Шугаман хурдасгуур нь электронуудыг цахилгаан соронзон долгионоор хурдасгаж, өндөр энергитэй болгодог. Электронуудыг электрон үүсгүүрээр үүсгэж, бичил долгионоор хурдасгагч хоолойд хурдасгадаг.



1-р зураг. Шугаман хурдасгуурын бүтцийн диаграмм 1-модулятор, 2-удирдлагын консол, 3-богино долгионы генератор эсвэл өсгөгч, 4-долгионы хөтөч, 5-эргэлтийн төхөөрөмж, 6-электрон буу, 7-хурдасгах хэсэг, 8-эргэдэг соронз ба олон шүдэт коллиматор, 9-вакум засвар үйлчилгээний систем, 10-автомат давтамжийг хянах, тохируулах систем, 11-пневматик систем, 12-ус хөргөх систем

Хурдасгагдсан электронуудыг цацрагийн төхөөрөмжөөр дамжуулан өвчтөний биеийн хавдрын байршилд чиглүүлнэ. Хяналтын систем нь цацрагийн тун, чиглэл, энерги зэрэг параметрүүдийг нарийн тохируулж, эмчилгээний үйл явцыг автоматаар удирддаг. Энэхүү процесс нь хавдрын эсийг устгаж, эрүүл эдэд хамгийн бага хор хөнөөл учруулдаг [1].

III. СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

Энэхүү судалгааны ажил нь шугаман хурдасгуурын эмчилгээний хүртээмж, дэвшилтэт технологийн хэрэгцээг тодорхойлох зорилготой тул тоо баримтад суурилсан Статистик болон харьцуулсан судалгааны арга зүйг ашиглав.

Статистик судалгаа

Монгол Улсад жил бүр бүртгэгдэж буй хавдрын өвчлөл болон эрүүл мэндийн байгууллагуудын тайлан, судалгааны өгөгдөл, шугаман хурдасгуураар эмчлэгдэх боломжтой хавдрын төрөл, эмчилгээний түвшнийг тодорхойлох зорилгоор олон улсын эмнэлзүйн

удирдамж, стандарт судалгааны тайланг ашигласан.

Монгол Улсад шугаман хурдасгуураар эмчлэгдсэн өвчтөнүүдийн тоо, эмчилгээний хүртээмжийг Хавдар судлалын үндэсний төвийн тайланг ашигласан болно.

Харьцуулсан судалгаа

Монгол Улсад ашиглагдаж буй шугаман хурдасгуур болон түүний дэвшилтэт технологийн үр ашгийг олон улсын жишигтэй харьцуулан судалсан.

Техник, технологийн судалгаа

Шугаман хурдасгуурын эвдрэл гэмтлийн шалтгааныг судалсан.

Одоогийн Монгол Улсад ашиглагдаж буй шугаман хурдасгуурын техник үзүүлэлт, хүчин чадлыг судалсан.

Олон улсад нэвтэрч буй дэвшилтэт технологид судалгаа хийж, Монгол Улсад суурилуулах хэрэгтэй эсэхийг судалсан.

IV. СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН

Сүүлийн жилүүдэд Монгол Улсад хорт хавдрын өвчлөл нэмэгдэх хандлагатай байгаа нь эрүүл мэндийн салбарт тулгамдсан асуудлуудын нэг болж байна. Хорт хавдрын оношилгоо, эмчилгээний дэвшилтэт арга технологийг нэвтрүүлэх нь өвчтөний амьдралын чанарыг сайжруулах, нас баралтыг бууруулах гол хүчин зүйлсийн нэг юм.

2-р зураг. Сүүлийн 10 жилд хорт хавдраар шинээр өвчилсөн хүний тоо

2013 онд хорт хавдрын шинэ тохиолдол 5255 байсан бол 2023 онд 7’244 болсон байна [2].

Сүүлийн 10 жилийн хугацаанд хорт хавдрын шинэ тохиолдлын тоо 1989-өөр нэмэгдсэн нь эрүүл мэндийн салбарт анхаарах шаардлагатай асуудал байгааг харуулж байна.

Зураг 3-т Монгол Улсад 2023 онд хорт хавдрын өвчлөлийн бүтцийг харуулсан бөгөөд элэгний хавдар хамгийн өндөр хувийг (33%) эзэлж, дараа нь ходоод (17%), уушги (6%), умайн хүзүү (6%) гэх мэт хорт хавдрын төрлүүд жагсжээ. Эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн инженерийн хувьд энэ нь оношилгоо, эмчилгээнд шаардлагатай MRI, CT, PET-CT, ультра авиан оношилгооны систем, лабораторийн шинжилгээний төхөөрөмжүүдийн хүртээмж, хүчин чадлыг нэмэгдүүлэх хэрэгцээг илтгэнэ. Мөн туяа эмчилгээний тоног төхөөрөмж, тухайлбал, шугаман хурдасгуур, брахи эмчилгээний системийг сайжруулах, засвар үйлчилгээг тогтмол хийх нь эмчилгээний үр дүнг дээшлүүлэхэд чухал ач холбогдолтой. Хавдрын эрт илрүүлэлт, оношилгооны технологийг хөгжүүлэх нь өвчлөлийг бууруулах үндсэн арга зам юм.

Монгол Улсад шугаман хурдасгуур ашиглан хорт хавдрын эмчилгээний дэвшилтэт арга технологи нэвтрүүлж, тодорхой төрлийн хавдруудыг үр дүнтэй эмчилж байна.

3-р зураг. 2023 оны хорт хавдрын өвчлөлийн бүтэц

Тухайлбал: ходоодны хорт хавдар (17%), уушгины хорт хавдар (6%), улаан хоолойн хорт хавдар (5%), умайн хүзүүний хорт хавдар (6%) зэрэг нь нийт 2023 оны хорт хавдрын өвчлөлийн 34%-ийг эзэлж байна [3].

2023 оны байдлаар эдгээр төрлийн хавдраар өвчилсөн 1,085 хүн буюу нийт өвчтөнүүдийн 15% нь шугаман хурдасгуурын эмчилгээнд хамрагдсан бол үлдсэн хувь нь өөр эмчилгээний арга замыг сонгожээ. Энэ нь Монгол Улсад хорт хавдрын

эмчилгээний хүртээмжийг нэмэгдүүлэх шаардлага байгааг харуулж байна. Мөн бага болон дунд орлоготой орнуудын хувьд шугаман хурдасгуур нь механик болон цахилгааны гэх мэт эвдрэлээс үүдэн хэд хоногоос хэдэн сар хүртэлх хугацаанд зогсонгийг үүсгэдэг томоохон асуудалтай тулгардаг. Үүнээс харахад төхөөрөмжийн тасралтгүй ажиллагаа нь эмчилгээний чанар, хүртээмжид шууд нөлөөлдөг болох нь тодорхой байна. Иймээс тус төхөөрөмжийн тасралтгүй ажиллагааг дээшлүүлэх нэн тэргүүний шаардлага үүсээд байгаа юм.

Шугаман хурдасгуурын эвдрэл гэмтлийн хүчин зүйлс

Шугаман хурдасгуурын эвдрэл гэмтлийн шалтгаан нь физик, орчны, техник, хүнээс үүссэн олон төрлийн хүчин зүйлсийг агуулдаг. Эдгээр хүчин зүйлс нь тоног төхөөрөмжийн ажиллагаанд шууд нөлөөлж, үйлчлүүлэгчдэд үзүүлэх эмчилгээний үр дүнд сөргөөр нөлөөлж болзошгүй юм. Энэ төрлийн асуудал нь хамгийн их анхаарал шаарддаг зүйлсийн нэг бөгөөд үр дүнтэй ажиллахын тулд олон хүчин зүйлийг харгалзан үзэх хэрэгтэй. Төхөөрөмжийн эд ангиудын элэгдэл, байрлалын тохиргоо, агааржуулалт, цахилгааны чанар зэрэг хүчин зүйлс нь шугаман хурдасгуурын эвдрэл гэмтлийн үндсэн шалтгаануудыг судалснаар асуудлын уг шалтгааныг тодорхойлох боломжтой юм.

- *Цахилгааны чанар аюулгүй байдал*

Монгол улсын хувьд цахилгааны чанар аюулгүй байдал нь нэн тэргүүний анхаарах ёстой эрсдэлт хүчин зүйлс болж байна. Улаанбаатар хотын нэгэн бүст хийсэн судалгаагаар хүчдэлийн хазайлт нь стандарт хэмжээнээс А фаз 4.5-аас 11.3%, В фаз 4.7-гоос 10.7%, С фаз 5.8-аас 11.2%-иар их, чадлын коэффициент нь зөвшөөрөгдөх хэмжээнд хүрэхгүй 0,75 хүртэл буурч байгаа нь чанарын шаардлага хангахгүй байна. Энэ 3 фазын ачаалал жигд бус хуваарилагдсан, чадлын коэффициентын утга хэвийн хэмжээнд хүрэхгүй, хүчдэлийн хазайлтын утга зөвшөөрөгдөх хэмжээнээс хэтэрсэн байдал нь үйлдвэрийн тоног төхөөрөмжийн найдварт ажиллагаанд сөргөөр нөлөөлнө гэж үзсэн байна [4].

- *Орчны нөлөөлөл*

Байршлын стандарт хангалтгүй байх – Шугаман хурдасгуур суурилуулах өрөө нь олон улсын стандартын дагуу зохих хэмжээний цацрагийн хамгаалалттай, чийгшил, температурын тохиргоотой байх шаардлагатай.

Агааржуулалт, хөргөлтийн асуудал – Хэт халалт нь эд ангийн хурдан элэгдэл, электрон схемийн эвдрэл үүсгэх эрсдэлтэй.

- *Ашиглалтын ачаалал*

Хэт их хэрэглээ – Өдөрт олон өвчтөнд үйлчлэх үед эд ангиудын элэгдэл нэмэгдэж, засвар үйлчилгээний шаардлага өсдөг. Тогтмол засвар үйлчилгээний дутагдал – Үйлдвэрлэгчийн зааврын дагуу тогтмол үзлэг, солих шаардлагатай эд ангиудын хугацааг дагахгүй бол гэмтэл үүсэх эрсдэлтэй [5].

Техникчийн буруу ажиллагаа – Туршлагатай инженер, техникчийн хяналтгүйгээр ажиллуулах нь эвдрэлд хүргэж болзошгүй.

- *Програм хангамж ба хяналтын системийн хүчин зүйлс*

Програм хангамжийн алдаа, шинэчлэлтийн доголдол – Шугаман хурдасгуурын хяналтын системийн програм хангамж хоцрогдож, тохиргоо нь зөрөх тохиолдолд эмчилгээний алдаа гарах эрсдэлтэй.

Сенсор, хяналтын самбарын доголдол – Даралт, температур, энергийн мэдрэгчүүд буруу ажиллах нь хурдасгуурын ажиллагаанд доголдол үүсгэж болно.

- *Сэлбэг хэрэгслийн бүрэн хангалт*

Түгээмэл гэмтдэг сэлбэг хэрэгслийн нөөцийг тодорхой хэмжээнд байлгаж байгаа ч нөөцөд байхгүй сэлбэг хэрэгсэл гэмтэх, нэг биш 2 түүнээс дээш сэлбэг дараалан болон зэрэгцэн гэмтсэн тохиолдолд нэг сар түүнээс дээш хугацаанд төхөөрөмж зогсох тохиолдол цөөнгүй гарч байна. Тиймээс сэлбэгийн хангамжийг хэсэгчлэн бус бүрэн нөөцлөх шаардлагатай байна.

Шугаман хурдасгуурын эвдрэл нь цахилгаан хангамжийн тогтворгүй байдал, орчны нөхцөлийн стандарт хангалтгүй байдал, хэт их ашиглалт, программ хангамжийн шинэчлэлт, сэлбэгийн хомсдолоос үүдэлтэй. Эдгээрийг шийдвэрлэхийн тулд цахилгааны тогтвортой байдлыг хангах, хөргөлтийн системийг сайжруулах, тогтмол засвар үйлчилгээ хийх, программ хангамжийг шинэчлэх, сэлбэгийн нөөц бүрдүүлэх шаардлагатай. Энэ нь төхөөрөмжийн найдварт ажиллагааг сайжруулж, эмчилгээний хүртээмжийг нэмэгдүүлнэ [6].

Олон улсын болон Монгол Улсад ашиглагдаж буй шугаман хурдасгуурын стандарт шаардлагын харьцуулалт

Шугаман хурдасгуур нь хорт хавдрын эмчилгээнд өргөн хэрэглэгддэг өндөр технологийн тоног төхөөрөмж бөгөөд түүний ашиглалт, аюулгүй ажиллагаа нь олон улсын болон үндэсний стандартын дагуу зохицуулагддаг. Олон улсад IEC, ISO, IAEA зэрэг байгууллагуудын тогтоосон стандартууд мөрдөгддөг бол Монгол Улсад эдгээрийг үндэслэн дотоодын зохицуулалтууд хэрэгжиж байна. Гэсэн хэдий ч манай улсад мөрдөгдөж буй стандарт, дүрэм журмууд олон улсын шаардлагатай хэр зэрэг нийцэж байгаа нь тодорхой бус хэвээр байна. Иймээс энэхүү судалгаагаар Монгол Улсад ашиглагдаж буй шугаман хурдасгуурын стандарт шаардлагыг олон улсын жишигтэй харьцуулан үнэлж, сайжруулах шаардлагатай талуудыг тодорхойлох зорилготой.

Олон улсын стандартууд нь ихэнхдээ хэрэглэх орчны аюулгүй байдал, цахилгаан хэрэглээ, агааржуулалт болон тоног

төхөөрөмжийн засвар үйлчилгээний шаардлагыг тодорхойлдог бол Монгол Улсад мөрддөг стандартууд нь үүнтэй төстэй боловч орон нутгийн нөхцөл байдал, эрчим хүчний чанар болон хангамжийн онцлогт тулгуурлан тодорхой өөрчлөлттэй байж болно [7].

ОЛОН УЛСЫН БОЛОН МОНГОЛ УЛСАД АШИГЛАГДАЖ БУЙ ШУГАМАН ХУРДАСГУУРЫН СТАНДАРТ ШААРДЛАГЫН ХАРЬЦУУЛАЛТ

Олон улсын стандартууд нь эмчилгээний Монгол Улсад хорт хавдрын туяа эмчилгээг

Ангилал	*Олон улсын стандартууд (IEC, ISO, IAEA)*	*Монгол Улсын стандартууд, дүрэм журам*	*Тайлбар, харьцуулалт*
Ерөнхий шаардлага	- IEC 60601-1: Эмнэлгийн цахилгаан тоног төхөөрөмжийн үндсэн аюулгүй ажиллагаа, гүйцэтгэлийн шаардлагууд.	-MNS 6240:2011: Эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн аюулгүй ажиллагааны шаардлага.	Монголын стандартууд олон улсын ерөнхий шаардлагуудтай нийцдэг боловч хэрэгжилт, хяналтын тогтолцоо сул байна.
	- ISO 13485: Эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн чанарын удирдлагын тогтолцоо, үйлдвэрлэл, үйлчилгээний стандарт.	-Эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн ашиглалтын журам	Монголын стандарт нь чанарын удирдлагын тогтолцооны олон улсын ISO 13485 стандартад бүрэн нийцээгүй.
Цацрагийн хамгаалалт ба аюулгүй байдал	- IEC 60601-2-1: Шугаман хурдасгуурын цацрагийн аюулгүй байдлын шаардлага.	-MNS 5143:2002: Цацрагийн хамгаалалт ба аюулгүй байдал.	Монгол Улсад цацрагийн хамгаалалтын шаардлага бий ч, хяналт сул, хэмжилтийн нарийвчлал харьцангуй бага байна.
	- IAEA BSS (Basic Safety Standards): Олон улсын цацрагийн хамгаалалтын үндсэн стандарт.	-Монгол Улсын Цацрагийн хамгаалалтын тухай хууль	Монгол Улсын цацрагийн хамгаалалтын эрх зүйн зохицуулалт олон улсын түвшинд нийцэх боловч хэрэгжилт, хяналтын тогтолцоог сайжруулах шаардлагатай.
	- IAEA TRS-398: Цацрагийн тунгийн хэмжилтийн стандарт, нарийвчлалын шаардлага.	--	Монгол Улсад шугаман хурдасгуурын цацрагийн тунгийн хэмжилт, түүний баталгаажуулалтын нарийвчлал хангалттай түвшинд хүрээгүй.
Эмчилгээний төлөвлөлт ба нарийвчлал	- IEC 62083: Радиотерапийн төлөвлөлтийн системийн аюулгүй байдал, нарийвчлалын шаардлага.	-Эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн ашиглалтын дүрэм	Монгол Улсад шугаман хурдасгуурын геометр тохиргоо, эмчилгээний төлөвлөлтийн хяналтын талаар тусгай стандарт байхгүй.
	- IEC 61217: Газарзүйн байрлал, туяаны тохиргооны нарийвчлалын шаардлага.	--	Эмчилгээний нарийвчлал, тунгийн тохируулгыг олон улсын түвшинд нийцүүлэх шаардлагатай.
Чанарын хяналт ба баталгаажуулалт	- ISO 13485: Эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн чанарын удирдлагын тогтолцоо.	-MNS 6240:2011: Эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн аюулгүй ажиллагааны стандарт.	Монгол Улсын чанарын хяналтын тогтолцоо олон улсын түвшинд хүрэх шаардлагатай.
	- IAEA TRS-398: Цацрагийн тунгийн хэмжилтийн стандарт.	--	Цацрагийн тунгийн хэмжилт, түүний хяналт олон улсын түвшинд нийцэх шаардлагатай.
Ашиглалтын орчин, цахилгаан эрчим хүч	- IEC 60601-1: Цахилгааны аюулгүй байдал.	-Цахилгаан байгууламжийн ашиглалтын дүрэм	Монгол Улсад цахилгаан хангамжийн найдвартай ажиллагаа, тасалдалгүй байдал, хамгаалалтын системийг олон улсын жишигт нийцүүлэх шаардлагатай.
	- IEC 61217: Тоног төхөөрөмжийн тохиргоо, ажлын орчин.	-Цахилгаан техникийн байгууламжийн угсралтын дүрэм	Монгол Улсад цахилгаан хангамж, сүлжээний тогтвортой байдлыг сайжруулах шаардлагатай.
	- IAEA SSG-46: Эмнэлгийн шугаман хурдасгуурын зохистой орчны стандарт, төхөөрөмжийн эрчим хүчний хэрэглээ, хөргөлтийн шаардлага.	--	Монгол Улсад эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн цахилгаан хангамж, хөргөлтийн системийг олон улсын түвшинд нийцүүлэх шаардлагатай.

нарийвчлал, цацрагийн аюулгүй байдал, чанарын хяналт, цахилгаан хангамж зэрэгт өндөр шаардлага тавьдаг.

Монгол Улсад мөрдөгдөж буй стандартууд олон улсын стандартуудтай харьцуулахад хязгаарлагдмал бөгөөд чанарын баталгаажуулалт, хяналтын тогтолцоог сайжруулах шаардлагатай [8].

голчлон гүйцэтгэж буй байгууллага бол Хавдар Судлалын Үндэсний Төв юм. Одоогоор тус төвд 3 ширхэг шугаман хурдасгуур ажиллаж байгаа бөгөөд тэдгээрийн техникийн үзүүлэлт, хүчин чадлыг харьцуулан судаллаа. Шугаман хурдасгуурын техник, технологийн боломж, хүчин чадал нь туяа эмчилгээний үр дүн, өвчтөний эмчилгээний чанарт шууд нөлөөлдөг. Иймд доорх үндсэн үзүүлэлтүүдийг харьцуулан судлав.

№	Төхөөрөмжийн загвар	Clinac IX	Unique	Truebeam
1	Үйлдвэрлэсэн он	2015	2015	2022 оны 12 сард
2	Суурьлуулсан он	2016	2016	2023 онд
3	Фотон цацрагийн хэмжээ	6, 10, 15 МВ	6 МВ	6, 10, 15 МВ
4	Электрон цацрагийн хэмжээ	6, 9, 12, 15 МеВ	-	6, 9, 12, 15, 18 МеВ
5	Тунгий хэмжээ	100–600 хяналтын нэгж/мин	100–600 хяналтын нэгж/мин	100–2400 хяналтын нэгж/мин
6	Эмчилгээний хамгийн бага талбай	3х3 $см^2$	3х3 $см^2$	3х3 $см^2$
7	Эмчилгээний хамгийн их талбай	40х40 $см^2$	40х40 $см^2$	40х40 $см^2$
8	Хүчдэл	100-220 В	100-220 В	100-220 В
9	Далайц	50-60 Гц	50-60 Гц	50-60 Гц
10	Дүрслэл ба байрлал	2D, 3D	2D	2D, 3D, 4D
11	Цацрагын нарийвчлал	1 мм	1 мм	1 мм
12	Олон шүдэт колиматор	120 ш, 10 мм	80 ш, 10 мм	120 ш, 3 мм

Хүснэгт 2. Монгол улс дахь шугаман хурдасгуурын техник үзүүлэлт

Энэхүү харьцуулалт нь туяаны энергийн түвшин, нарийвчлал, дүрслэлийн технологи, эмчилгээний талбай, цахилгааны хэрэглээ, олон шулт коллиматорын ялгаа зэрэг гол хүчин зүйлсийг багтаана. Үүний үндсэн дээр шинэ технологийн давуу тал, эмчилгээний чанарыг сайжруулах боломж, цаашид хийгдэх шинэчлэлтийн шаардлага зэрэг чухал мэдээллүүдийг тодорхойлох зорилготой.

Truebeam загвар хамгийн орчин үеийн төхөөрөмж бөгөөд өндөр энергийн түвшин (18 МВ), 4D дүрслэл, илүү нарийвчлалтай олон шүдэт коллиматортой тул өндөр нарийвчлал шаардсан туяа эмчилгээний хувьд илүү давуу талтай байна.

Clinac IX болон Unique загварууд хоёул хуучин технологитой, бага энергийн түвшинтэй (10 МВ, 6 МВ) тул шинэ төхөөрөмжүүдтэй харьцуулахад хязгаарлагдмал боломжтой.

Truebeam төхөөрөмжийн олон шүдэт коллиматорын (120 ш, 3 мм) нарийвчлал нь эрүүл эд эсийг гэмтээхгүйгээр хавдрыг оновчтой туяажуулах боломжийг нэмэгдүүлдэг [9].

№	Төхөөрөмжийн загвар	Truebeam	Elakta versa HD
1	Үйлдвэрлэсэн он	2022 оны 12 сард	2013 онд
2	Тунгийн хэмээ /Minimum/	20 хяналтын нэгж/мин	1 хяналтын нэгж/мин
3	Тунгийн хэмжээ/Maximum/	600 хяналтын нэгж/мин	1400 хяналтын нэгж/мин
4	Фотоны эрчим хүч	18 МВ	18 МВ
5	Эмчилгээний хамгийн бага талбай	3х3 $см^2$	4х4 $мм^2$
6	Эмчилгээний хамгийн их талбай	40х40 $см^2$	40х40 $см^2$
7	Хүчдэл	100-220 В	380 В
8	Далайц	50-60 Гц	50-60 Гц
9	Дүрслэл ба байрлал	2D, 3D, 4D	3D, 4D
10	Цацрагын нарийвчлал	1 мм	1 мм
11	Олон шүдэт колиматор	120 ш, 3 мм	160 ш, 2.5 мм

Хүснэгт 3. Монгол дахь шугаман хурпасгуурыг орчин үеийн дэвшилтэт шугаман хурдасгууртай харьцуулсан техник үзүүлэлт

Монгол Улсад ашиглагдаж буй Truebeam (2022) болон Elekta Versa HD (2013) шугаман хурдасгуурын харьцуулалтаас харахад, Elekta Versa HD нь 1-1400 хяналтын нэгж/мин тунгийн хүчин чадалтай, өндөр тун өгөх давуу талтай. Truebeam нь 20-600 хяналтын нэгж/мин тунтай боловч 3х3 см² хамгийн бага эмчилгээний талбайтай, илүү нарийвчлалтай коллиматортой тул туяаг илүү нарийн хянах боломжтой. Хоёулаа 18 МВ фотон энерги, 4D дүрслэлтэй тул хөдөлгөөнт эрхтэнд нарийвчлалтай эмчилгээ хийх боломжтой. Иймд Elekta Versa HD нь өндөр тунгийн хүчин чадалтай бол Truebeam нь нарийвчлал сайтай, орчин үеийн технологитой төхөөрөмж юм [10].

Хорт хавдрын туяа эмчилгээний хүртээмжийг тодорхойлох олон улсын судалгаануудын дагуу 450-500 шинэ хорт хавдрын тохиолдол тутамд нэг шугаман хурдасгуур шаардлагатай гэсэн тооцооллыг ашигладаг. 2023 оны хорт хавдрын шинэ өвчлөл: 7’244 тохиолдол

Олон улсын стандарт (500 шинэ тохиолдолд 1 нэг шугаман хурдасгуур) [11]:

$$7'244 \div 500 \approx 14.5 \approx 15$$

Монгол Улсад хамгийн багадаа 15 шугаман хурдасгуур шаардлагатай гэж үзэж болно. Үүнээс харахад Монгол улсад шугаман хурдасгуурын эрэлт хэрэгцээ их байна.

Монгол Улс хорт хавдрын өвчлөл, нас баралтаар дэлхийд тэргүүлж байна. Тухайлбал, элэгний хорт хавдрын өвчлөлөөр дэлхийн 185 орноос нэгдүгээр байрт жагсаж, нас баралтын түвшин дэлхийн дунджаас найм дахин их байна. Мөн элэгний хорт хавдрын шалтгаант нас баралтаар дэлхийд тэргүүлж байна [12]. Элэгний хорт хавдрын туяа эмчилгээнд тохиромжтой шугаман хурдасгуур сонгохдоо дараах техникийн үзүүлэлтүүдийг анхаарах шаардлагатай. Энергийн түвшин нь 6-18 MB фотон туяатай байх ба энэ нь гүн байрлалтай элэгний хавдарт хүрэх боломжийг бүрдүүлнэ. Туяаны модуляци нь IMRT, VMAT, SBRT зэрэг технологийг дэмжсэн байх ёстой. Амьсгалын хөдөлгөөнд хяналт тавих систем чухал бөгөөд 4D дүрслэлтэй байх нь нарийвчлалыг нэмэгдүүлдэг. Тунгийн хурд нь 1000-1400 хяналтын нэгж/мин байх нь эмчилгээг хурдан, үр дүнтэй хийх давуу талтай. Олон шүдэт коллиматор нь 120-160 шүдтэй, 2.5 мм хүртэл нарийвчлалтай байх нь туяаг хавдрын хэлбэрт тохируулахад тусална. Эдгээр долоон үзүүлэлтүүдийг хангасан Truebeam, Elekta Versa HD зэрэг төхөөрөмжүүд элэгний хорт хавдрын эмчилгээнд үр дүнтэй ашиглагддаг.

V. ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгаагаар Монгол Улсад хорт хавдрын туяа эмчилгээнд ашиглаж буй шугаман хурдасгуурын өнөөгийн байдал, техникийн үзүүлэлт, хүчин чадлыг олон улсын дэвшилтэт төхөөрөмжүүдтэй харьцуулан судаллаа. Судалгааны үр дүнд Хавдар судлалын үндэсний төвд ашиглагдаж буй Clinac IX, Unique, Truebeam загваруудын техникийн үзүүлэлт, эмчилгээний нарийвчлал, туяаны тунгийн тогтвортой байдал, дүрслэлийн технологи зэрэг хүчин зүйлсийг Elekta Versa HD зэрэг олон улсад өргөн хэрэглэгдэж буй дэвшилтэт загваруудтай харьцуулан үнэлсэн. Clinac IX, Unique загварууд нь 6–15 MB эрчим хүчтэй фотон цацраг гаргах чадвартай бөгөөд үндсэн эмчилгээний функцүүдийг хангаж байгаа хэдий ч Truebeam, Elekta Versa HD төхөөрөмжүүдтэй харьцуулахад туяаны тунгийн нарийвчлал, дүрслэлийн чанар, эмчилгээний үр ашиг зэрэг үзүүлэлтүүд харьцангуй доогуур байна. Truebeam загвар нь IMRT, IGRT зэрэг дэвшилтэт туяа эмчилгээний аргуудыг дэмждэг бол Elekta Versa HD нь High Dose Rate (HDR), FFF (Flattening Filter Free) технологи, 4D дүрслэл, 160 ш олон шүдэт коллиматор зэрэг өндөр технологиудыг ашиглаж, хавдрын нарийвчлалтай эмчилгээг илүү үр дүнтэй хийх боломжтой. Монгол Улсад жил бүр хорт хавдрын шинэ тохиолдлын тоо нэмэгдэж, туяа эмчилгээний хэрэгцээ өндөр байгаа тул шинэ шугаман хурдасгуур нэвтрүүлэх, хүчин чадал нэмэгдүүлэх шаардлага зүй ёсоор тулгарч байна. Мөн элэгний хорт хавдрын өвчлөлөөр дэлхийн 185 орноос нэгдүгээрт жагсаж байна. Тиймээс Elekta Versa HD нь элэгний хорт хавдрын туяа эмчилгээнд өндөр үр ашигтай, аюулгүй, орчин үеийн шийдэл болохыг судалгааны үр дүнд дүгнэж байна. Одоогийн төхөөрөмжүүдийн ашиглалтын хугацаа, эвдрэл гэмтлийн тохиолдол, засвар үйлчилгээний хүртээмжийг нэмэгдүүлэх, шинэ дэвшилтэт загвар бүхий Elekta Versa HD өндөр хүчин чадалтай хурдасгуур суурилуулах шаардлагатай.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1]. Khan, F. M., & Gibbons, J. P. (2014). Цацрагийн эмчилгээний физик (5 дахь хэвлэл)

[2]. “Хорт хавдраар шинээр өвчлөгчид, насны бүлгээр”, Үндэсний статистикийн хороо, 2013-2023.

[3]. Н.Эрдэнэхүү, “Хорт хавдрын үзүүлэлт 2023”, 2024 он, 20-23 хуудас.

[4]. Д.Баатархүү, “Цахилгаан эрчим хүчний чанар ба гэрэлтүүлгийн хэмнэлтийн судалгаа”, 2017 он, 3-4 хуудас.

[5]. Монгол Улсын Эрчим Хүчний Яам. Цахилгаан байгууламжийн ашиглалтын үед мөрдөх аюулгүй ажиллагааны дүрэм. Улаанбаатар, Монгол Улс. (2022).

[6]. Олон улсын атомын энергийн агентлаг. Цацраг эмчилгээний тоног төхөөрөмжийн засвар үйлчилгээ: Чанар, найдвартай байдлыг баталгаажуулах техникийн баримт бичиг. (2015).

[7]. Смит, Ж., Браун, К. (2020). Хавдрын туяа эмчилгээнд зориулсан шугаман хурдасгуурын шинэчлэл. Анагаах ухааны физикийн сэтгүүл, 45(3), 215-230.

[8]. Монгол Улсын Эрүүл Мэндийн Яам. Хавдрын эмчилгээний стандарт, удирдамж. Улаанбаатар, Монгол Улс. (2023).

[9]. Varian Medical Systems. (2023). TrueBeam систем: Хавдрын туяа эмчилгээний дэвшилтэт технологи.

[10]. Elekta компанийн албан ёсны мэдээлэл. (2022). Elekta Versa HD төхөөрөмжийн техникийн үзүүлэлтүүд.

[11]. Олон улсын атомын энергийн агентлаг (ОУАЭА), Хүний эрүүл мэндийн тайлан № 14, 2015.

[12]. Монгол Улсад хорт хавдрын өвчлөлийн байдал, 2023 оны тайлан. Улаанбаатар, Монгол Улс, 20

ARDIUNO UNO-Д СУУРИЛСАН УСНЫ ЧАНАР ТОДОРХОЙЛОГЧИЙГ ХӨГЖҮҮЛЭХ АСУУДАЛ

Г. Мөнхчимэг[1*], Д. Пүрэвдаш[2*]
Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Цахилгаан техникийн салбар
**Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: munhchimeggantulga@gmail.com[1], dashaa@must.edu.mn[2]*

Хураангуй: **Arduino UNO микроконтрелорд суурилсан усны чанар тодорхойлогчийн цахилгаан схемийг ашиглан pH мэдрэгч, температур мэдрэгч, тунгалаг байдал мэдрэгч, нийт ууссан хатуу бодис мэдрэгч гэсэн дөрвөн мэдрэгчүүдийг ашиглан физик химийн үзүүлэлтүүдийг хэмжиж усны чанар тодорхойлогчийг угсарч хэмжилт хийсэн үр дүнг танилцуулж байна. Энэхүү бүтээлийн нийт зардал 269500 төгрөг болсон үүнтэй ижил техник үзүүлэлттэй усны чанар тодорхойлогчийн зах зээлийн үнэ 160 доллар буюу 560000 төгрөгөөс доошгүй үнэтэйгээр импортоор оруул ирдэг. Үүнээс харахад зах зээлийн үнээс хоёр дахин хямд зардлаар хаана ч хэрэглээний ундны усны чанарыг тодорхойлох боломжтой. Электроникийн асуудлыг шийдсэн усны чанар тодорхойлогчийг хөгжүүлснээр ундны уснаас авч болох гэдэсний өвчин, нянгаар үүсгэгддэг өвчлөлөөс урьдчилан сэргийлэх шийдэл болсон.**

Түлхүүр үг: pH хэмжигч, тунгалаг хэмжигч, температур,

I. УДИРТГАЛ

Ус бол амьдралын эх үүсвэр төдийгүй эрүүл мэнд, сайн сайхан байдлын үндэс суурь юм. Ус нь хоёр устөрөгчийн атом, нэг хүчилтөрөгчийн атомоос бүрдсэн химийн нэгдэл бөгөөд бидний амьдралыг тэтгэгч юм. Хүний биеийн 60-70 хувийг эзэлж эд эс, эрхтнүүдийн үйл ажиллагааг хангах үндсэн элемент юм. Ус нь бодисын солилцооны үйл явцыг дэмжиж, хорт бодисыг биеэс гадагшлуулж эрүүл амьд явахад чухал үүрэг гүйцэтгэдэг. Түүнчлэн, байгаль орчинд ургамал, амьтдын оршихуйн үндэс болон дэлхийн экосистемийн тэнцвэрийг хадгалж байдаг. Ус нь хүний эрүүл мэндийн баталгаа болж байгаа төдийгүй, ирээдүйд бидний амьдрах орчныг хадгалахад зайлшгүй шаардлагатай билээ.

Хүмүүс бидний өдөр тутамдаа хэрэглэдэг ундны усны чанар нь хүний эрүүл мэнд, сайн сайхан байдлыг хангахад гол үүрэг гүйцэтгэдэг. Дэлхийн эрүүл мэндийн байгууллагын ус, ариун цэврийн байгууламж, ахуйн бохирдлын талаар гаргасан тайлан, судалгаанаас харахад ундны усны бохирдлоос шалтгаалсан гэдэсний халдварт өвчин, шимэгчийн халдвар, суулгалт зэрэг өвчлөлөөр дэлхий даяар жилд 4 сая гаруй хүн өвчилж, 2 сая гаруй хүний амь нас эндсэн байна [1]. Иймд ундны усны чанар аюулгүй байдлыг тодорхойлж хянах нь хүний эрүүл мэндийг хамгаалахад чухал ач холбогдолтой.

II. ОНОЛЫН ХЭСЭГ

Усны чанар гэдэг нь тухайн усны физик,химийн болон биологийн шинж чанаруудын нийлбэрийг илэрхийлж ундны ус, аж үйлдвэрийн хэрэглээ, хөдөө аж ахуй болон байгаль орчинд шууд нөлөөлдөг. Усны чанарыг тодорхойлсноор хүний эрүүл мэндийг хамгаалахаас гадна хүрээлэн буй орчны тогтвортой байдлыг хангахад чухал хүчин юм. Ундны усны чанарыг тодорхойлохын тулд хэд хэдэн үндсэн үзүүлэлтүүдийг хянах шаардлагатай байдаг [2]. Эдгээр үзүүлэлтүүдийг Олон улсын стандартын байгууллага (ISO) болон Монгол улсын стандартад (MNS) усны чанарын физик, хими, биологийн ямар үзүүлэлтээр хэрхэн тодорхойлдог болохыг дараах хүснэгтээс харьцуулан харж болно [3].

УСНЫ ЧАНАРЫН ҮЗҮҮЛЭЛТ

ХҮСНЭГТ 1

Үзүүлэлт	Олон улсын стандарт ISO	Монгол улсын стандарт MNS
pH	6.5-8.5	6.5-8
Turbidity	≤5 NTU	≤5 NTU
TDS	≤1000 мг/л	≤1000 мг/л
Хүнд металлууд (Pb, Hg, Cd)	≤0.01 мг/л	0.01-0.05 мг/ л
Хлор (Cl)	≤250 мг/л	≤250 мг/л
CE	< 2500 µ/см	<2500 µ/см

Усны чанарыг бүрэн үнэлэхийн тулд физик, химийн, биологийн параметрийг тогтмол хянах шаардлагатай. Гэвч зарим усны чанар тодорхойлогч параметрүүдийн хувьд элбэг байдаггүй тул бүх параметрүүдийг хянах боломжгүй байдаг. Судалгааны үр дүнд зарим физиохимийн параметрүүд нь усны чанарын ерөнхий үзүүлэлтүүдийг хянах боломжтойг судалсан. Тиймээс энэ судалгаанд pH мэдрэгч, тунгалаг байдал мэдрэгч, нийт ууссан хатуу бодис хэмжигч, температур мэдрэгч зэрэг физиохимийн параметрүүдийг сонгон авч хийсэн. Мэдрэгчүүдийг ашиглахад хялбар, зөөвөрлөх боломжтой, хэмнэлттэй байх зэрэгт тулгуурлан сонгосон. Энэхүү судалгааны ажлаар Arduino Uno платформ ашиглан усны чанар тодорхойлогчийг хөгжүүлэхийг зорьсон [4].

Техник хангамж

Arduino Uno бол олон төрлийн микроконтроллер (MCU) дээр суурилсан нээлттэй эхийн микроконтроллерийн цуврал самбар юм. Микроконтроллерийн самбар нь төрөл бүрийн өргөтгөлийн самбар болон бусад хэлхээнүүдтэй холбогдож болох тоон болон аналог оролт/гаралтын (Оролт/гаралтын) зүүгээр тоноглогдсон нийт 18 оролт/гаралттай бөгөөд үүний 6 нь аналог оролт, 12 нь тоон оролт/гаралт юм [5].

1-р зураг. ARDUINO UNO микроконтроллер

pH мэдрэгч нь шингэний хүчиллэг ба суурилаг чанарыг хэмжих төхөөрөмж юм. pH мэдрэгч нь мэдрэгч электрод, дохио хувиргах самбар гэсэн хоёр хэсгээс бүрдэнэ. pH нь 0-14 хүртэлх хэмжигдэхүүнтэй бөгөөд шингэний хүчиллэг, суурилгийг хэмждэг. 0-7 хооронд хүчиллэг 7-14 хооронд шүлтлэг гэж үзнэ.

2-р зураг. Аналог pH мэдрэгч

Усны температур нь усны чанарын физик параметр бөгөөд химийн урвалын хурдыг удирддаг. Мөн усанд ууссан хүчилтөрөгч (DO)-ийн хэмжээ температурын нөлөөнд өртдөг, учир нь температур нэмэгдэхийн хирээр DO-ийн хэмжээ буурдаг учир усны температурыг хянах нь чухал. Энэхүү бүтээлд DS18b20 усны хамгаалалттай температур мэдрэгч ашигласан. Энэ мэдрэгч нь 0.5°C нарийвчлалаар -55°C-аас +125°C хүртэлх температурын хүрээг хэмждэг бөгөөд ямар ч нэмэлт бүрдэлгүйгээр ажилладаг [6].

3-р зураг. Ds18b20 температур мэдрэгч

Тунгалаг байдал мэдрэгч нь усны доторх хатуу хэсгүүд (молекул, тоос, шавар гэх мэт) эсвэл бусад хольцын хэмжээ, бусад үүсгэгч бодисуудын хэмжээг тодорхойлж, усны чанарыг шалгахад ашиглагддаг. Гэрэл ойлгогч (LED) болон хүлээн авагч (photo-detector) ашиглан ажилладаг. Мэдрэгч нь гэрлээ усанд ойлгон усан доторх хөндлөн биетүүд гэрлийг түгээх эсвэл тараах замаар гэрлийн хэмжээг өөрчилдөг. Энэ өөрчлөлт нь мэдрэгч дээр хүлээн авсан гэрлийн хүчдэлээр хэмжигдэж, усны тунгалаг байдлын хэмжээг тодорхойлдог [7].

4-р зураг. Тунгалаг байдал мэдрэгч

Нэг литр усанд ууссан нийт хатуу бодисын миллиграммын хэмжээг илэрхийлнэ. Усанд ууссан нийт хатуу бодисын утга өндөр байх тусам усанд илүү олон ууссан хатуу бодис оршдог бөгөөд энэ нь усны цэвэршилт буурсан гэж үздэг. Мэдрэгч нь хоёр электрод ашигладаг. Эдгээр нь усанд байрлах бөгөөд цахилгаан гүйдлийг дамжуулж хэр их гүйдэл гүйж байгааг хэмжих замаар ажилладаг [8].

5-р зураг. Нийт ууссан хатуу бодис хэмжигч

Эдгээр 4 мэдрэгчүүд нь усны чанар, цэвэршилт, бохирдлыг хэмжин мэдээллийг хүлээн авч, усны чанарыг тодорхойлоход түгээмэл ашиглагддаг.

УСНЫ ЧАНАРЫН ХЯНАЛТЫН ТӨХӨӨРӨМЖИЙН ТЕХНИКИЙН ҮЗҮҮЛЭЛТҮҮД

ХҮСНЭГТ 2

Техник үзүүлэлт	Хүчдэл	Хэмжилтийн нарийвчлал	Хэмжилтийн хязгаар
pH	5В	±0.1%	0 - 14 pH
Температур	3.0-5.5В	±0.5°C	-55°C - +125°C
Тунгалаг байдал хэмжигч	5В	±0.5 NTU	0 - 1000 NTU
TDS	5В	±2%	0 - 1000 мг/л
LCD 16x2	5В	-	-

Arduino uno	5В	-	-

Энэхүү хүснэгт нь Arduino Uno дээр суурилсан усны чанарын тодорхойлогчид ашиглагдах үндсэн мэдрэгчүүд болон дэлгэцийн техникийн үзүүлэлтийг харуулж байна. Усны чанар тодорхойлогч нь усны pH, температур, тунгалаг байдал, нийт ууссан хатуу бодис (TDS)-ийн хэмжээг тодорхойлно [9].

III. АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

1. ARDUINO UNO: Микроконтроллерийн самбар.
2. PH мэдрэгч: Усан дахь хүчиллэг болон шүлтлэг байдлыг хэмжинэ.
3. Температур мэдрэгч (DS18B20): Усны температурыг хэмжинэ.Температураас шалтгаалж хэмжилтийн утга өөрчлөгддөг тул температур тогтмол байх хэрэгтэй.
4. Тунгалаг байдал мэдрэгч (TURBIDITY SENSOR): Усны тунгалаг байдал тодорхойлох.
5. Нийт ууссан хатуу бодис хэмжигч: Усанд уусан хатуулгыг хэмжинэ.
6. LCD дэлгэц: Үзүүлэлтийг харуулах.

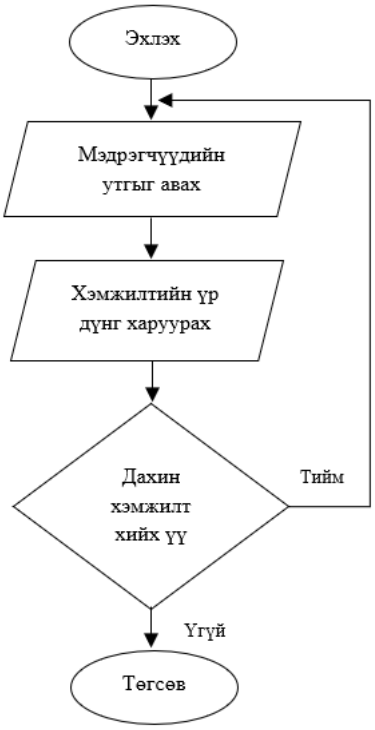
Холбогч болон бусад дагалдах хэрэгсэл: Утас, резистор, адаптер гэх мэт.

IV. СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

Энэхүү судалгааг хийхийн тулд хамгийн түгээмэл ашиглагддаг усны чанар тодорхойлогч элементүүдийг сонгон авч дараах үе шатуудын дагуу хийж гүйцэтгэсэн болно.

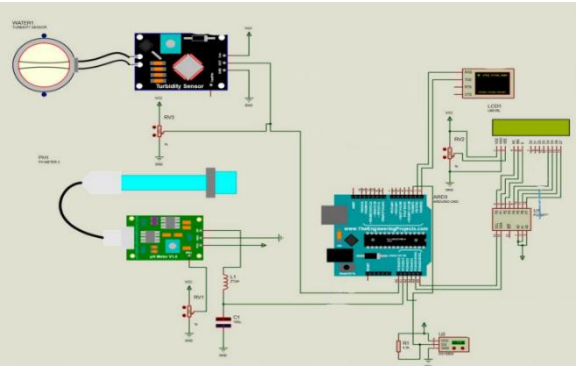
6-р зураг. Усны чанар тодорхойлогчийн блок схем

Усны чанар тодорхойлогчийн блок схемд температур мэдрэгч, pH мэдрэгч, TDS мэдрэгч гэх мэт мэдрэгчүүдийг микроконтроллер (Arduino Uno)-т холбосон. Мэдрэгчүүд усны чанарын үзүүлэлтүүдийг хэмжиж, микроконтроллерт мэдээллийг дамжуулна. Микроконтроллер нь өгөгдлийг боловсруулж, LCD дэлгэцээр харуулдаг [10].



7-р зураг. Усны чанар тодорхойлогчийн бүтцийн алгоритм

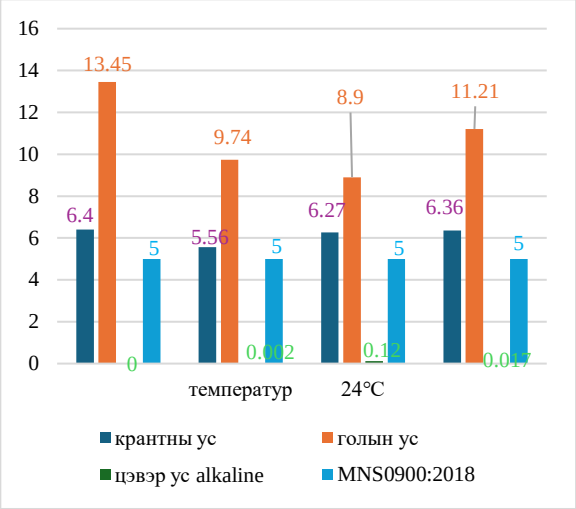
Алгоритм эхлэх үед эхлээд мэдрэгчээс шаардлагатай өгөгдлийг авна. Дараа нь уншсан мэдээллийг боловсруулж, хэрэглэгчид эсвэл системд үр дүнг харуулна. Үүний дараа дахин хэмжилт хийх шаардлагатай эсэхийг шалгана. Хэрэв дахин хэмжилт хийх шаардлагатай бол эхний алхам руу буцаж, үйл явцыг давтана. Хэрэв шаардлагагүй бол алгоритм дуусаж, программ ажиллахаа зогсооно.



8-р зураг. Усны чанар тодорхойлогчийн цахилгаан схем

Arduino Uno, pH мэдрэгч, температур мэдрэгч, тунгалаг байдал мэдрэгч, TDS мэдрэгч,

болон LCD дэлгэц нь бүгд 5В хүчдэлээр ажилладаг. Температур мэдрэгч (DS18B20) нь 3.0-5.5V хүчдэлээр ажилладаг. Схемийг угсрахдаа Arduino Uno-г компьютерт холбож программчилалын кодыг оруулах, мэдрэгчүүдийг тохирсон портуудад холбох шаардлагатай. pH мэдрэгчийг A0, температур мэдрэгчийг A1, тунгалаг байдал мэдрэгчийг A2, TDS мэдрэгчийг A3 портод холбож болно. LCD дэлгэцийг I2C портоор холбож, хүчдэлийн хангамжийг холбох шаардлагатай [11].



9-р зураг. pH мэдрэгчийн хэмжилтийн утгын харьцуулалт

Хэмжилтийн үр дүнг LCD дэлгэц дээр харуулж, pH, температур, тунгалаг байдал, TDS үзүүлэлтүүдийг харах боломжтой. Энэхүү схем нь усны чанарын гол үзүүлэлтүүдийг хянах боломжтой хэрэглэхэд хялбар системийг хөгжүүлэхэд чиглэсэн.

V. ҮР ДҮН

Туршилтын үр дүнд Ardiuno UNO ашиглан хамгийн түгээмэл хэрэглэгддэг 3 мэдрэгчийн хэмжилтийн алдаа болон нарийвчлалыг баталгаажуулахын тулд харьцангуй алдаа болон үнэмлэхүй алдааг тооцоолсон [12].

Үнэмлэхүй алдаа:

$$\Delta = X - X_{\text{үн}} \quad (1)$$

X- хэмжилтийн утга

$X_{\text{үн}}$ - хэмжих утга

Харьцангуй алдаа:

$$\delta = \left(\frac{\Delta}{X_{\text{үн}}}\right) \times 100\% \quad (2)$$

pH мэдрэгчийн алдааны хэмжээ

$$\Delta = 6.7 - 7 = 0.3$$

$$\delta = \left(\frac{\Delta}{X_{\text{үн}}}\right) \times 100\% = \frac{0.3}{7} \times 100\% = 4.2\%$$

Температур мэдрэгчийн алдааны хэмжээ

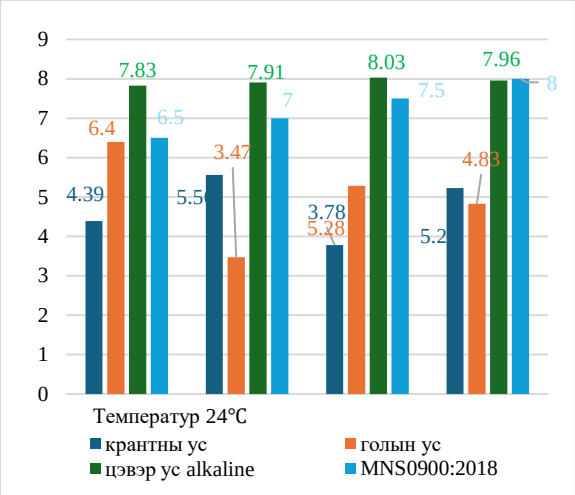
$$\Delta = 24$$

$$\delta = \left(\frac{\Delta}{X_{\text{үн}}}\right) \times 100\% = \left(\frac{24}{26}\right) \times 100\% = 1.04\%$$

Тунгалаг байдал мэдрэгчийн алдаа

$$\Delta = X - X_{\text{үн}} = 6.55 - 5 = 1.55$$

$$\delta = \left(\frac{\Delta}{X_{\text{үн}}}\right) \times 100\% = \left(\frac{1.55}{5}\right) \times 100\% = 0.31\%$$



10-р зураг. Усны тунгалаг байдал мэдрэгч

Зураг 3-т крантны усны pH утга 4.39-5.56 хооронд хэлбэлзэж байгаа нь бага зэргийн хүчиллэг шинжтэйг харуулж байна. Харин Сэлбэ голын усны pH утга 3.47-6.4 хооронд байгаа нь крантны уснаас илүү хүчиллэг шинжтэйг илтгэж байна. Энэхүү судалгаагаар цэвэр усны (alkaline шүлтлэг ус pH-8) шошгон дээрх үзүүлэлт үнэн эсэхийг шалгаж үзэхэд pH 7.83-8.03 хооронд байсан тул шошгон дээрх үзүүлэлт бодит хэмжилтийн үр дүнтэй нийцэж байгаа нь тогтоогдсон. Тус цэвэр ус (alkaline) нь үнэхээр шүлтлэг шинж чанартай бөгөөд шошгон дээр дурдсан pH утга бодит байдалтай тохирч байв.

Крантны усны тунгалаг байдал мэдрэгчийн утга 5.56-6.4 хооронд байгаа нь MNS0900:2018 стандарттай харьцуулахад бага зэргийн булингартай байгааг харуулж байна. Харин Сэлбэ голын усны тунгалаг байдал мэдрэгчийн утга 8.9-13.45 хооронд хэмжсэн ба булингарын хэмжээ 2 дахин их байна. Энэ нь крантны уснаас бага зэрэг бохирдолтой байгааг илтгэж байна. Энэхүү туршилтаар мөн цэвэр усны (alkaline) тунгалаг байдлын үзүүлэлтийг хэмжихэд 0-0.001 хооронд байсан. Эдгээр хэмжилтүүдээс харахад бидний өдөр тутамдаа хэрэглэдэг крантны ус болон Сэлбэ голын ус нь хүчиллэг ихтэй мөн тунадастай байна.

Мэдрэгчүүдийн цэвэрлэгээ

- pH мэдрэгчийн цэвэрлэгээ хийхдээ эхлээд цахилгаан тэжээлээс салгаад электродыг зөөлөн хөвөнгөөр арчсаны дараа нэрмэл усаар сайн зайлна. Тостой, хогтой усанд хэмжилт хийсэн тохиолдолд бага зэргийн савантай усаар зөөлөн зайлсны дараа дахин нэрмэл усаар зайлж цэвэрлэнэ. Хэрэв мэдрэгчид хатуу бодис наалдсан байвал зөөлөн үстэй сойзоор

зөөлөн үрж арилгана. Электрод хэт мэдрэг тул байнга савантай ус сойж хэрэглэхгүй байхыг анхаарах хэрэгтэй. Мөн сэгсэрч болохгүй.

- Тунгалаг байдал мэдрэгчийн цэвэрлэгээ нь мөн адил цахилгаан тэжээлээс салгасны дараа хуурай зөөлөн хөвөнгөөр арчина.
- Нийт ууссан хатуу бодис мэдрэгчийг цэвэрлэхдээ мөн адил цахилгаан тэжээлээс салган зөөлөн хөвөнгөөр арчина. Энэ мэдрэгч нь харьцангуй их бохирддог тул арчсаны дараа спирт эсвэл сүүгээр зайлж хуурай болтол арчиж хатаасны дараа ашиглана [13].

ЭЛЕМЕНТИЙН ЭДИЙН ЗАСГЫН ТООЦОО ХҮСНЭГТ 3

№	Бүрэлдэхүүн хэсэгүүд	Тоо хэмжээ (ширхэг)	Үнэ (₮)
1	Ardiuno Uno	1	60000
2	Lcd дэлгэц	1	25000
3	Тунгалаг байдал хэмжигч	1	37000
4	Усанд ууссан хатуу бодис хэмжигч	1	35000
5	Ph хэмжигч	1	75000
6	Температур хэмжигч	1	20000
7	Холбогч утаснууд	20	2500
8	Холболтын хавтан	1	15000
Нийт зардал			269500

Давуу талууд

- Бага өртөгтэй, гар аргаар угсрахад хялбар.
- Өгөгдөл цуглуулах, хадгалах, анализ хийх боломжтой.
- Бодит цаг хугацаанд мэдээлэл өгөх чадвартай.

Сул тал

- Мэдрэгчүүдийн нарийвчлал лабораторийн өндөр нарийвчлалтай төхөөрөмжөөс бага.
- Усны чанарын зарим нарийн үзүүлэлт (Жишээ нь: хүнд металлын агууламж, эрдэсжилт) хэмжих боломжгүй.

VI.ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгааны ажилд Arduino UNO микроконтроллерт суурилсан усны чанар тодорхойлогчийн pH мэдрэгч, температур мэдрэгч, тунгалаг байдал мэдрэгч, нийт ууссан хатуу бодис мэдрэгч гэсэн дөрвөн мэдрэгчүүдээс физик химийн үзүүлэлтүүдийг хэмжин алдааг тооцоолон усны чанар тодорхойлох боломжтойг баталсан. Энэхүү бүтээлийн нийт зардал 269500 төгрөг болон ижил техник үзүүлэлттэй усны чанар тодорхойлогчийн зах зээлийн үнэ 160 доллар буюу 560000 төгрөгнөөс доошгүй үнэтэй импортолдог. Үүнээс харахад зах зээлийн үнэнээс хоёр дахин хямд зардлаар хаана ч ундны усны чанарыг тодорхойлох боломжтой. Электроникийн асуудлыг шийдсэн усны чанар тодорхойлогчийг хөгжүүлснээр ундны уснаас авч болох гэдэсний өвчин, нянгаар үүсгэгддэг өвчлөлөөс урьдчилан сэргийлэх шийдэл болсон.

Цаашдын судалгааны хүрээнд төхөөрөмжийн мэдрэгчүүдийн нарийвчлалыг сайжруулах, нэмэлт үзүүлэлтүүдийг хэмжих боломжийг судлах шаардлагатай.

Цаашид хөгжүүлэх боломж

1. Хүнд металлын агууламж болон бусад химийн бодисыг хэмжих мэдрэгчийг
2. Утасгүй холбооны технологи ашиглан өгөгдлийг алсаас хянах систем хөгжүүлэх.
3. Төхөөрөмжийн бат бөх байдлыг нэмэгдүүлэх, эрчим хүчний хэмнэлттэй болгох.
4. Бага эрчим хүч зарцуулдаг шинэ микроконтроллер ашиглах

Энэхүү судалгаа нь усны чанарыг хянах хямд, үр ашигтай систем хөгжүүлэхэд ач холбогдолтой юм.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] Дэлхийн Эрүүл Мэндийн Байгууллага, “Ус, ариун цэврийн байгууламж, ахуй болон бохирдлын эрүүл мэндийн өвчлөлийн талаар,” 2021 он.

[2] MNS 0900:2018 “Ундны усны стандарт.”

[3] Дэлхийн Эрүүл Мэндийн Байгууллага, “Усны чанарын удирдамж,” 2018 он

[4] Вонг Жун Хонг, “Arduino дээр суурилсан мэдрэгч бүхий усны чанарын хяналт”

[5] С. Монк, “Arduino програмчлал: Эхлэл ба практик,” 2018 он.

[6] И. Максим, “DS18B20 температур мэдрэгчийн техникийн үзүүлэлтүүд,” 2024 он

[7] Атлас “Тунгалаг байдлын мэдрэгчийн үйл ажиллагааны зарчим,” 2024 он

[8] А. Паланисами, “Arduino Uno ашиглан хийсэн IoT суурилсан усны чанарын хяналт.”

[9] Т.Р. Гопал, “Arduino Uno ашиглан усны чанарын хяналтын системийн зохиомж ба хэрэгжилт.”

[10] П.Четри, “IoT суурилсан усны чанар хяналтын системийг ашиглах нь”

[11] М.С. Рани, “Arduino Uno ашиглан хямд өртөгтэй усны чанарын хяналтын системийн хөгжүүлэлт.”

[12] С.Эрдэнэтуяа, Ө.Баярмаа “Цахилгаан хэмжилт” 2014 он, 23 хуудас

[13] Рай В.Боверс, “Усны чанарын мэдрэгчүүд: Практик гарын авлага”

ТЕМПЕРАТУР, ЧИЙГШЛИЙН УДИРДЛАГЫН СИСТЕМТЭЙ ИНКУБАТОР ХӨГЖҮҮЛЭХ АСУУДАЛ

Д.Баяржаргал[1*], Д.Пүрэвдаш[2*]
ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Цахилгаан техникийн салбар,
Эмнэлгийн тоног төхөөрөмж ашиглалтын инженер
**Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: BB20030221@gmail.com, dashaa@must.edu.mn[2]*

Хураангуй: **Нярайн инкубатор нь нярайн эрчимт эмчилгээний тасаг дах дутуу төрсөн, эмгэгтэй болон мэс заслын дараах нярайд эмчилгээ сувилгаа хийх тоног төхөөрөмж юм. Орчин үеийн нярайн инкубатор нь нярайг эмчлэхэд шаардагдах бүх параметрүүдийг мэдэрч, шаардлагатай температурын мэдрүүр, чийгшлийн мэдрүүр, хүчилтөрөгчийн агууламжийг хэмжих, нярайг гуурсаар хооллох, нярайг хүчилтөрөгчөөр хангах, нярайд зүрхний цахилгаан бичлэг хийх, цусан дах хүчилтөрөгчийн агууламжийг хэмжих зэрэг бүхий л параметрийг хэмждэг орчин бүхий бүрэн автоматжуулсан тоног төхөөрөмж юм. Нярайн инкубаторын техник үзүүлэлтийг сонгоход шаардагдах чухал параметр нь температур, харьцангуй чийгшил юм. Энэ нь нярайг шаардлагатай дулаан болон чийгшлээр хангадаг юм. Температур чийгшил удирдлагын хувьд мэдрэгчтэй дэлгэц ашигласан нь нэг том шийдэл болсон юм. Тус бүтээлийг өөр салбарт хөрвүүлж ашиглах боломжтой юм. Үйлдвэрлэгдэж байгаа тоног төхөөрөмжөөс угсрагдаж байгаа нь том давуу талтай.**

Түлхүүр үг: нярай, харьцангуй чийгшил, параметр.

I. УДИРТГАЛ

Өнөө үед төрөлт ихсэхийн хирээр дутуу нярайн төрөлт ч ихэсч байгаа тул нярайн тоног төхөөрөмжийн хүрэлцэх байдал чухал асуудал болоод байна. Эдгээр нярайн тоног төхөөрөмжүүд нь дутуу төрсөн нярайг хурдан хугацаанд эмчилж болно. Нярай үедээ хүүхэд өдрийн 24 цагийн 22-т нь унтдаг. Хэвийн хүүхэд тасалгааны температурын 20-30 градуст, харин дутуу төрсөн хүүхэд 30 градусаас дээш температурт байх ёстой тул эмчийн хяналтад байх ёстой. Хэвийн жирэмслэлтийн тээлтийн хугацаа 38-42 долоо хоног үргэлжилнэ, харин жирэмсний 22-37 долоо хоногийн хугацаанд төрхийг дутуу төрөлт гэнэ. Эрүүл гүйцэт нярайн биеийн жингийн 5-8% арьсан доорх өөхөн давхарга эзэлнэ, харин дутуу төрсөн нярайн өөхөн давхарга бага тул дулаан алдагдал их байдаг. Иймд дутуу төрсөн нярайг тогтмол 34-38℃ хэмд байлгах ёстой. Дутуу төрсөн хүүхдийн арьс үрчгэр, бие жижиг, арьс шар өнгөтэй, толгой, нүд нь том байдаг тул нярайг эрүүл болтол нярайн инкубаторт байлгах шаардлагатай. Дутуу төрөлтийн хугацаа хэдий чинээ эрт байна нярайн эрүүл мэнд төдий чинээгээр таагүй нөлөө үзүүлнэ [1].

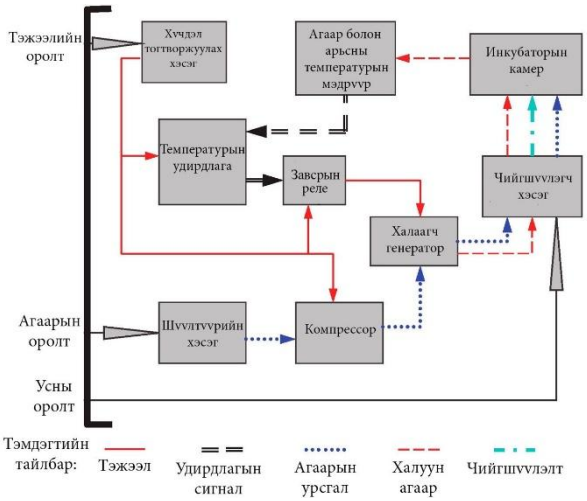
Иймд эмнэлгийн орчинд эмчилгээ, асаргаа хийдэг тоног төхөөрөмж нь нярайн инкубатор юм. Гэвч манай оронд төрөх эмнэлгүүд дэх нярайн инкубатор хүрэлцээ муу улмаас нярайд тохирсон эмчилгээ, асаргааг цаг тухайд нь хийж чаддаггүй байна.

II. НЯРАЙН ИНКУБАТОРЫН БҮТЭЦ, АЖИЛЛАХ ЗАРЧИМ

Нярайн инкубаторын бүтэц

Нярайн инкубатор нь нэн чухал хоёр хувьсагчуудтай. Үүнд: температур болон харьцангуй чийгшил орно. Энэ нь эсэргүүцлээр дамжин цахилгаан схемд очин хяналт зохицуулалт хийгддэг. Зураг 1-т нярайн инкубаторын ажиллах зарчмын схем харуулав.

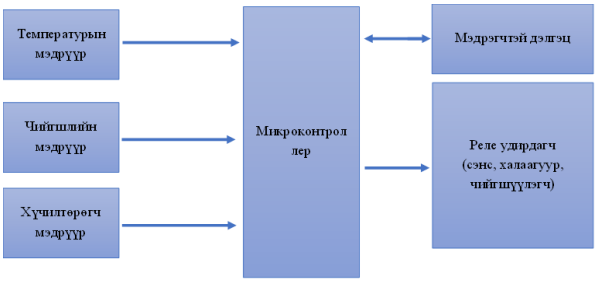
Нярайн инкубаторын удирдлагын схемийн ажиллах зарчмыг зураг 2-т харуулав. Эхлээд оролтод температур болон чийгшлийн мэдрүүрээр мэдээлэл дамжина, ирсэн мэдээллийг аналог тоон хувиргуураар хувиргаж автоматжуулсан систем болох микроконтроллерт мэдээг боловсруулж LCD дэлгэцэнд тоон мэдээллийг харуулна.



1-р зураг. Нярайн инкубаторын зарчмын схем

Боловсруулсан мэдээллийн дагуу микроконтроллерын гаралтаар сэнс эсвэл халаагуурын реле залгагдаж тогтоосон тоон хэмжээ хүртэл ажиллана. Микроконтроллерт боловсруулсан мэдээг мөн GSM буюу мэдээлэл дамжуулах модемоор өөр нэмэлт хяналтын дэлгэц зэрэгт дамжуулан харж болно [2].

Нярайн инкубаторын температур болон чийгшлийг ганц элементийн тусламжтай хэмждэг. Температур чийгшлийн мэдрүүр нь бүрэн тохиргоо хийгдсэн гаралтыг гаргадаг мэдрэгч элемент болон дохионы процессорын нэгтгэл юм. Энэ мэдрүүр нь хоёр төрлийн элементийг мэдэрнэ. Нэгт багтаамжийн мэдрүүр, энэ нь харьцангуй чийгшлийг хэмжинэ (нягтрал=0,05%, хэлбэлзэл=3,0%), хоёрт



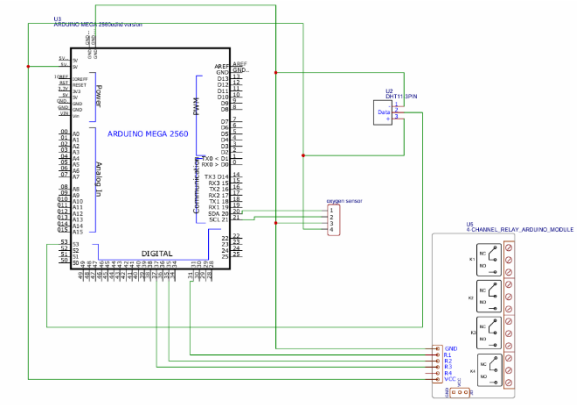
2-р зураг. Нярайн инкубаторын температур чийгшлийн удирдлагын схем

температурыг хэмжих хагас дугараг мэдрүүр (нягтрал=0,01%, хэлбэлзэл=0,4%). Зарим мэдрүүр нь аналог тоон хувиргууртай интерфейсийн хэлхээтэй тул түргэн хугацаанд үнэн зөв дээд зэргийн чанартай дохиог өгдөг [3].

III. ЦАХИЛГААН СХЕМ

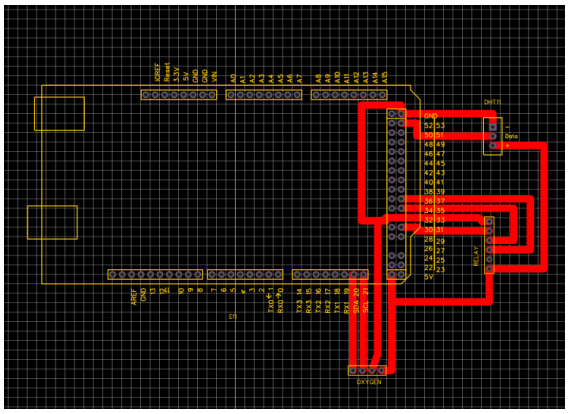
A. Цахилгаан схем

Нярайн инкубаторыг биетээр хийхэд хэрэглэсэн холболтын схемийг Зураг 3-т харуулав.



3-р зураг. Нярайн инкубаторын температур, чийгшлийн удирдлагын холболтын схем

Дээрх холболтын схем дээр ашиглагдах буй гол элементүүдээ оруулж холбож өгсөн болно. Мөн дэлгэцийг шууд микроконтроллер дээр зоож байрлуулсан. Харин Зураг 4-т PCB хавтан дээр уусгасан замыг харуулна.



4-р зураг. Нярайн инкубаторын температур, чийгшлийн удирдлагын схемийн PCB хавтан

Дээрх холболтын схем болон PCB зургийг EasyEDA программ дээр зурсан болно.

B. Схем дэх элементийн тайлбар

1) МИКРОКОНТРОЛЛЕР АРДУЙНА МЕГА 2560

Микроконтроллер гэдэг бол программ гэж нэрлэгддэг зааварчилга инструкцүүдийн багцаар удирдагдан тооцоололт болон электроник, мэдээллийн харилцаа холбооны үлдлүүдийг хийж гүйцэтгэдэг машин юм. Программ нь компьютерын санах ой дотор оршиж, компьютерын дотоод электроник төхөөрөмжүүдээр сэргээгдэн боловсруулагддаг.

Программын үр дүн гаралтын төхөөрөмжүүдээр дамжин тухайлбал видео дэлгэц болох монитор, эсвэл хэвлэгч төхөөрөмжөөр дамжин хэрэглэгч хүнд хүрдэг. Аливаа автомат төхөөрөмжүүдийн гол тархи нь микроконтроллер байдаг [4].

2) Хүчилтөрөгч мэдрэгч

I2C Хүчилтөрөгч мэдрэгч нь цахилгаан химийн зарчим дээр суурилдаг бөгөөд хүрээлэн буй орчны O2 концентрацийг үнэн зөв, тохиромжтой хэмжиж чаддаг. Хөндлөнгийн эсрэг өндөр чадвартай, өндөр тогтвортой байдал, өндөр мэдрэмжтэй энэхүү arduino-тай нийцтэй хүчилтөрөгч мэдрэгчийг зөөврийн төхөөрөмж, агаарын чанарыг хянах төхөөрөмж, үйлдвэр, уурхай, агуулах болон агааргүй бусад орон зайд өргөнөөр ашиглах боломжтой.

Тус мэдрэгч нь зохиомол орчин дахь хүчилтөрөгчийн мэдээллийг харуулах үүрэгтэй.

3) 4 Реле модуль

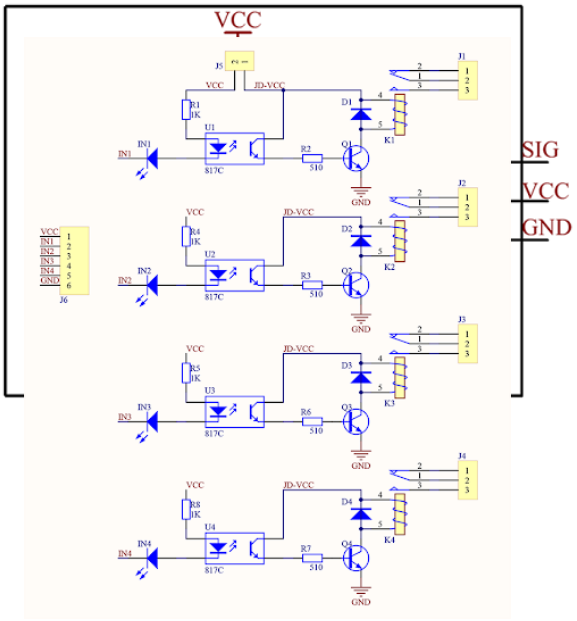
Оролтын хэмжигдэхүүний өөрчлөлтөөр гаралтандаа дискрет үйлдэл хийдэг автомат төхөөрөмжийг реле гэдэг. Эндээс үзэхэд реле нь хүлээн авах болон шуурхай гэсэн 2 хэсгээс бүрдэнэ.

А.Оролт (ороомог)

В.Гаралт (контакт) Релег ерөнхийд нь үндсэн болон туслах гэж 2 ангилна.

I. Үндсэн реле нь I, U, P, R-ийн реленүүд орно.

II.Туслах реленд хугацааны, завсрын, заагч реленүүд орно. Эдгээр реленүүдийн үүргийг авч үзье.



5-р зураг. 4 реле модуль

Үндсэн реле

- Гүйдлийн реле

Энэ нь гүйдлийн ихсэлтийг мэдэрч ажиллана.

- Хүчдэлийн реле

` Системд гарсан хүчдэлийн өөрчлөлтийг мэдэрч ажиллана.

- Чадлын реле

Богино залгааны гүйдлийн чиглэлийг мэдэрч ажиллана.

- Эсэргүүцлийн реле

Богино залгааны цэг болон хамгаалалт тавьсан цэг хоёрын хоорондох зайг мэдэрч ажиллана. Мөн гүйдэл, хүчдэлийн гэсэн 2 ороомогтой байна.

Туслах реле

- Хугацааны реле

Энэ нь албадмал хугацааны барилтыг бий болгодог.

- Завсрын реле

Үндсэн болон хугацааны релений гүйдэл даах чадвар нь муу байдаг. Иймд таслуурын таслах ороомогт үйлчлэхийн тулд завсрын релег ашигладаг.

- Заагч реле

Хамгаалалт ажилласныг ажиллаж буй хүмүүст дохиолох үүрэгтэй [5].

4) *Термохосын ажиллах зарчим*

Хоёр өөр металлын ажлын үзүүрийг гагнаад халаахад электронуудын хүчдэлийн ялгавраар цахилгаан хөдөлгөгч хүч үүсдэг. Термохосод үүсэх цахилгаан хөдөлгөгч хүч нь нэгж эзлэхүүнд байгаа чөлөөт электроны тооноос хамаарна. Хоёр өөр төрлийн металлаар хийсэн дамжуулагчийн үзүүрийг ижил хэмжээгээр халаахад I дамжуулагч утасны нэгж эзлэхүүнд байх чөлөөт электроны тоо II дамжуулагчид байх чөлөөт электроны тооноос их байх тохиолдолд I дамжуулагч утаснаас, II дамжуулагч утас руу, диффузын үзэгдэл явагдана. Ийм хэлбэрээр I дамжуулагч (+) цэнэгтэй, II дамжуулагч утас (-) цэнэгтэй болно. Гагнасан үзүүрүүд дээр үүсэж байгаа цахилгаан орон нь диффузын эсрэг үйлчилнэ. Энэ үед термохосын чөлөөт төгсгөлүүдийн хооронд потенциалын ялгавар бий болно. Температур өсөх тусам цахилгаан хөдөлгөгч хүчний хэмжээ өснө. Термохосын хийц ба материал нь дараах үндсэн шаардлагыг хангасан байна.

- Дулаанд тэсвэртэй
- Химийн тэсвэртэй
- Нэг нь нөгөөгөө оролдог

Термохос эсэргүүцэл ажиллах зарчим

Материалын цахилгаан эсэргүүцэл температураас хамааран өөрчлөгдөх үзэгдэл дээр үндэслэн хийгдсэн мэдрүүрүүдийг термо эсэргүүцэл гэнэ. Температур нэмэгдэх үед тухайн мэдрүүрийн эсэргүүцэл нэмэгдэж эсвэл буурч байгаагаас хамааран эерэг болон сөрөг эсэргүүцлийн коэффициенттой гэж ангилна.

Чийгшил хэмжих мэдрүүр

Хий, шингэн, хатуу биетийн чийглэгийг хэмжих орчин үеийн арга нь шууд ба шууд бус гэж ангилагдана. Чийгшил хэмжих шууд арга нь материалыг хуурай бодис ба чийгт ангилж дараа нь тэдгээрийг жигнэж чийгшлийг тооцдог.

Шууд бус дам арга нь материалын чийгшилтэй нарийн тоо хэмжээгээр холбогдсон туслах физик хэмжигдэхүүнээр чийгийг тодорхойлоход оршино.

Шууд бус арга нь хянаж буй орчны чийг агууламжаас хамаарах дулаан дамжуулалтыг хэмжих арга ба цахилгаан аргад хамаарна.

Чийгшлийн мэдрүүрийг ажиллах зарчмаар нь хоёр групп болгон ангилж болно. Үүнд: хэмжиж буй бодисын цахилгаан шинжээр нь цахилгаан физикийн ба цахилгаан үзүүлэлтийн гэж ангилна.

Цахилгаан физикийн группэд: хэт ягаан туяа чийгт шингэх зэргийг хэмжих шинжид үндэслэсэн радиацын мэдрүүр, өндөр давтамжийн хэлбэлзлийн цахилгаан соронз, g-цацраг ба нейтроны цацраг, соронзон цөмийн, резонансын зэрэг мэдрүүрүүд багтана.

Цахилгаан үзүүлэлтийн группэд: цахилгаан дамжуулалтын хэмжилтийн үр дүнгээр чийгшлийг тодорхойлох кондуторометрийн, цахилгаан алдагдлын өнцгийн тангенс болон цахилгаан сарнилтын хэмжээгээр чийгшил тодорхойлох өндөр давтамжийн, бодисын чийг хэмжлийн туслах механик шинжээр чийгшлийн үнэлэх гигрометр зэрэг мэдрүүрүүд багтана [6].

IV. ЭДИЙН ЗАСГИЙН ТООЦОО

Доорх хүснэгтэд нярайн инкубаторын цахилгаан схемийн эдийн засгийн тооцоог хийсэн. Тус тооцоог авсан дэлгүүр болон бусад дэлгүүртэй харьцуулж гаргасан болно.

МАТЕРИАЛЫН ҮНИЙН ЖАГСААЛТ

ХҮСНЭГТ 1

Элементийн нэр	Тоо ширхэг	Нэгж үнэ	Нийт үнэ
Хүчилтөрөгч мэдрэгч	1	200000	200000

4 Rely module	1	10000	10000
ARDUINO Mega 2560	1	75000	75000
ARDUINO UNO холбогч	1	3000	3000
Температур чийгшил мэдрэгч	1	6000	6000
Waveshare tft touchscreen	1	98000	98000
Сэнс	1	4000	4000
Халаагуур	1	4500	4500
Чийгшүүлэгч	1	40000	40000
Хавтан	1	9000	9000
Тугалга	3	2000	6000

Тус биетийг хийхэд нийт 455500₮ болсон. Харин ханган нийлүүлэх гадаад MorinMED компаниас захиалж авбал 2 сая 800 мянган төгрөгийн үнэтэй байна. Үүнд зам тээврийн зардал ороогүй болно. Тус аппаратын техник үзүүлэлтийг хүснэгт 2-т харуулав.

MORINMED КОМПАНИЙН НЯРАЙН ИНКУБАТОРЫН ТЕХНИК ҮЗҮҮЛЭЛТ

ХҮСНЭГТ 2

Эрчим хүчний хэрэгцээ	≤ 400Ва
Температурыг хянах горим	Агаарын серво удирдлага
Дохиолол	Цахилгаан тасалдсан дохиолол, Сэнсний алдааны дохиолол, Мэдрэгчийн эвдрэлийн дохиолол
Агаарын температурын хяналтын хүрээ	20℃ – 37℃
Температурын хэлбэлзэл	≤ 0.5℃
Матрас температурын жигд байдал	≤ 0.8℃
Температурын өсөлтийн хугацаа	≤ 45мин

Bistos Co.,Ltd компанын нярайн инкубатор МедБуян ханган нийлүүлэх байгуулгас авбал 21 сая 500 мянган төгрөгний үнэтэй байна. Тус аппаратын техник үзүүлэлтийг хүснэгт 3-т харуулав.

BISTOS CO.,LTD КОМПАНИЙН НЯРАЙН ИНКУБАТОРЫН ТЕХНИК ҮЗҮҮЛЭЛТ

ХҮСНЭГТ 3

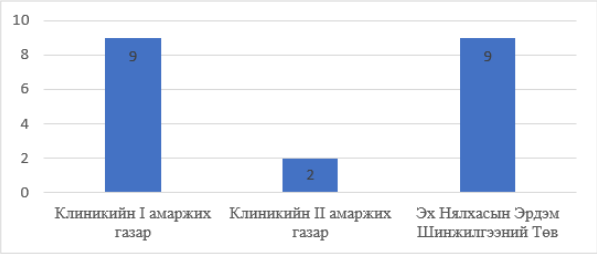
Цахилгаан тэжээл	220В, 50Гц
Дохиолол	Цахилгаан тасалдсан дохиолол, Сэнсний алдааны дохиолол, Мэдрэгчийн эвдрэлийн дохиолол
Агаарын температурын хяналтын хүрээ	23℃ – 37℃
Температурын хэлбэлзэл	≤ 0.5℃
Матрас температурын жигд байдал	≤ 0.8℃
Температурын өсөлтийн хугацаа	≤ 30мин

Үүнээс авч үзэхэд угсарч хийх нь илүү давуу талтай байна. Үнийн хувьд хямд мөн илүү техник үзүүлэлт сайн тоног төхөөрөмж угсарах боломжтой юм.

V. ХЭРЭГЛЭГДЭХ ХҮРЭЭ

Улаанбаатар хотын улсын төрөх эмнэлгүүд дэх нярайн инкубаторын тоо ширхэг.

Монгол улс 2015 оны 2 сард гурван сая дах иргэнээ өлгийдөн авсан нь манай улсын төрөлт эрс нэмэгдэж байгааг харуулж байна. Төрөлт ихсэхийн хирээр дутуу нярайн төрөлт даган ихэсдэг. Өөрөөр хэлбэл 2500 гр-аас бага жинтэй ба эхийн тээлтийн хугацааны 37 долоон хоногоос өмнө төрсөн нярайг

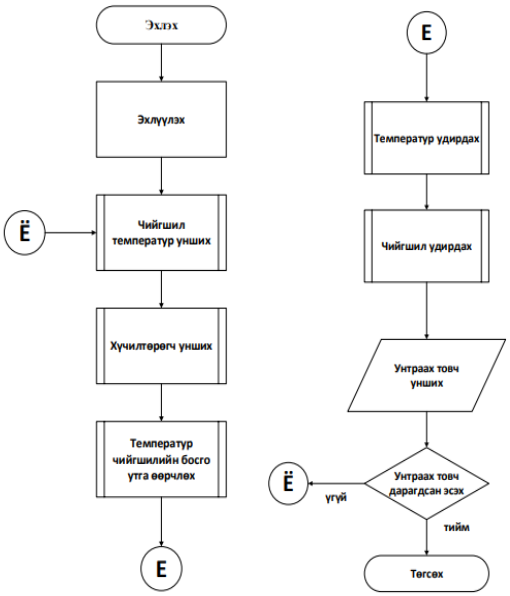


7-р зураг. II шатлалын эмнэлгүүд дэх нярайн инкубаторын тоо

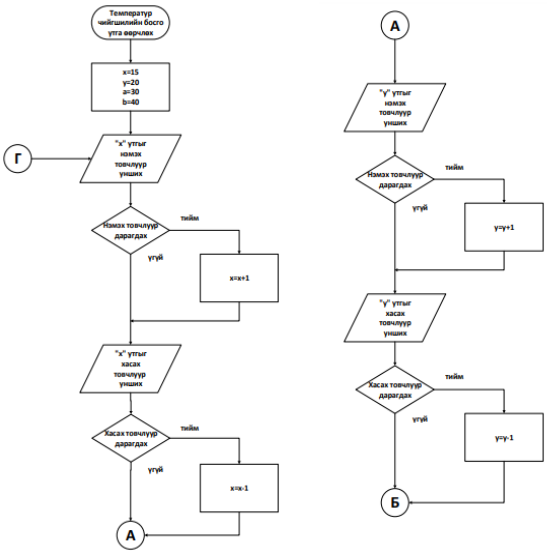
дутуу нярай гэнэ. Дутуу нярайг эрүүл саруул бойжуулахад хэрэглэдэг нэн чухал аппарат бол нярайн инкубатор юм. Гэвч манай орны хоёр дугаар шатлалын эмнэлгүүд дэх нярайн инкубатор нь хүрэлцээ муу байгаа тул нярайг цаг тухайд нь эмчилж сувилж чадахгүй байна. Нярайн инкубаторын хүрэлцээ муу байгаагийн шалтгаа нь манай улс хэрэглэгч улс тул гаднаас орж ирэх аппаратын үнэ их байгаад юм. Иймд миний хийсэн нярайн инкубатор нь өртөг хямд ба нярайд шаардлагатай дулаан болон чийгшлийг өгж чадах юм [7].

VI. МИКРОКОНТРОЛЛЕР ДЭЭРХ НЯРАЙН ИНКУБАТОРЫН ТЕМПЕРАТУР БА ЧИЙГШЛИЙН УДИРДЛАГЫН ПРОГРАММЫН АЛГОРИТМ.

Температур болон чийгшлийн хяналтын системийг удирдах процессыг харуулж байна. Систем нь эхлэхээс өмнө чийгшил, температурын утгыг уншиж, шаардлагатай тохиргоонуудыг хийнэ. Дараа нь хяналтын горимд шилжиж, хэрэглэгчийн команд (унтраах товч) эсэхийг шалган, тохирох үйлдлийг гүйцэтгэнэ. Энэ нь автомат хяналт, хэрэглэгчийн оролцоог хослуулсан удирдлагын логик үйл явц юм.



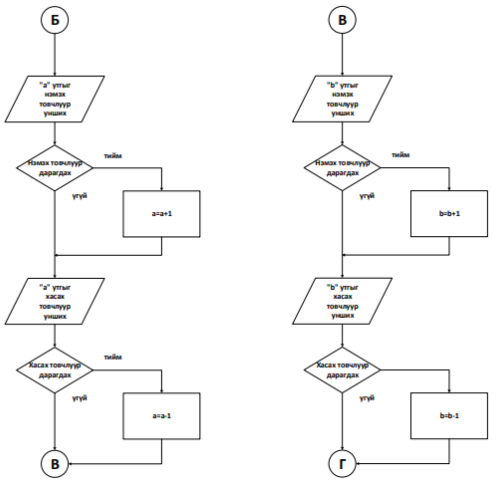
8-р зураг. Нярайн инкубаторын үндсэн алгоритм



9-р зураг. Температур, чийгшил болон хүчилтөрөгч унших алгритм

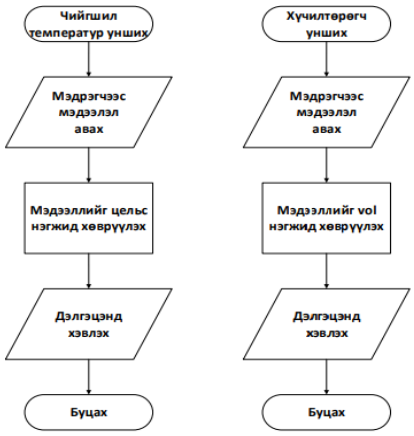
Энэхүү алгоритм нь температур болон чийгшлийн хэмжилтийг хийж, тогтсон нөхцлийн дагуу төхөөрөмжийн ажиллагааг удирдах үйл явцыг дүрсэлдэг.

Эхний үе шатанд систем температур, чийгшлийн утгыг хэмжиж, шаардлагатай тохиргоонуудыг гүйцэтгэнэ. Дараагийн шатанд хэрэглэгчийн оролт буюу унтраах командыг шалгаж, тохирох шийдвэрийг гаргана. Энэ процесс нь автомат хяналт, хэрэглэгчийн оролтыг уялдуулан тогтвортой ажиллагааг хангахад чиглэгдсэн. Алгоритм нь логик шийдвэр гаргалт болон нөхцөл шалгах зарчимд тулгуурладаг. Үүний үр дүнд систем бодит цагийн өгөгдлийг боловсруулж, хэрэглэгчдэд найдвартай, үр дүнтэй удирдлагын боломжийг олгодог. Мөн энэхүү алгоритм нь эрчим хүчний хэмнэлт, төхөөрөмжийн ашиглалтын хугацааг уртасгах давуу талтай.



10-р зураг. Босго утга өөрчлөх алгоритм

Энэхүү алгоритм нь чийгшил, температур, хүчдэл зэрэг өгөгдлүүдийг мэдрэгчээс уншиж, боловсруулан дэлгэцэнд харуулах процессыг дүрсэлж байна. Эхний шатанд мэдрэгчээс шаардлагатай мэдээллийг авснаар өгөгдлийг дараагийн шатанд боловсруулж, тодорхой нэгжид хөрвүүлдэг. Дараа нь хөрвүүлсэн өгөгдлийг дэлгэцэнд хэвлэж, хэрэглэгчдэд бодит цагийн мэдээлэл үзүүлнэ. Энэхүү алгоритм нь автоматжуулсан хяналтын системд ашиглагддаг бөгөөд хэрэглэгчдэд бодит цагийн мэдээллийг тодорхой, ойлгомжтой хэлбэрээр хүргэдэг. Мэдээлэл боловсруулалт нь нарийвчлалтай, алдаагүй байх шаардлагатай бөгөөд энэ нь системийн найдвартай ажиллагааг хангана. Ийнхүү өгөгдөл цуглуулалт, хувиргалт, харуулалт гэсэн шатлалуудаар дамжин, үр дүнг тасралтгүй хянах боломжтой болдог. Энэхүү алгоритм нь хоёр хувьсагчийн утгыг нэмэх, хасах товчлуураар хянах алгоритмыг харуулж байна. Эхний хэсэгт (А) “Y” хувьсагчийн утгыг нэмэх, хасах товчлуурын оролтыг шалгадаг. Хэрэв нэмэх товчлуур дарагдвал “Y” хувьсагчийн утгыг 1-ээр нэмэгдүүлж, хасах товчлуур дарагдвал 1-ээр хасна. Хоёрдугаар хэсэгт (Г) “X” хувьсагч дээр мөн адил нэмэх, хасах үйлдлүүдийг хийдэг. Нэмэх товчлуур дарагдвал “X” хувьсагчийн утгыг 1-ээр нэмэгдүүлж, хасах товчлуур дарагдвал 1-ээр хасна. Аль ч хэсэгт товчлуур дарагдаагүй тохиолдолд хувьсагчийн утга өөрчлөгдөхгүй. Энэ алгоритм нь хувьсагчдын утгыг хянах, удирдах, хэрэглэгчийн оролтод үндэслэн динамик өөрчлөлт хийх логиктой бүтэц юм. Үүний зэрэгцээ, энэ нь програмын ашиглалт, удирдлагын хэрэгслийг хялбаршуулж, хэрэглэгчийн оролтод хурдан хариу үйлдэл үзүүлэх боломжийг олгодог.



11-р зураг. Босго утга өгөх алгоритм

Энэхүү алгоритм хоёрдугаар хэсэг нь эхний диаграмын үргэлжлэл бөгөөд “a” болон “b” хувьсагчдыг нэмэх, хасах товчлуураар удирдах үйлдлүүдийг дүрсэлжээ. “Б” хэсэгт “a” хувьсагчийн утгыг нэмэх, хасах товчлуурын төлөвийг шалгана. Хэрэв нэмэх товчлуур дарагдсан бол “a=a+1” үйлдэл хийгдэж, хасах товчлуур дарагдсан бол “a=a-1” үйлдэл хийгдэнэ. “В” хэсэгт “b” хувьсагчийн утгыг мөн адил нэмэх, хасах товчлуураар хянах үйлдэл хийгдэнэ. Хэрэв нэмэх товчлуур дарагдвал “b=b+1” үйлдэл хийгдэж, хасах товчлуур дарагдвал “b=b-1” үйлдэл хийгдэнэ. Эдгээр хоёр алгортм нь хоорондоо уялдаа холбоотой бөгөөд нийтдээ дөрвөн хувьсагч (x, y, a, b)-ийн утгыг хэрэглэгчийн оролтоор удирдах логик бүтцийг харуулж байна. Хувьсагч тус бүр нэмэх, хасах товчлуураар өөрчлөгдөж, хэрэглэгчийн оролтын дагуу нөхцөлт шалгалтууд хийгддэг. Энэхүү алгоритм нь хэрэглэгчийн оролтод тулгуурлан хувьсагчдын утгыг динамикаар өөрчлөх, удирдах боломжийг олгосон бүтэцтэй бөгөөд эцсийн үр дүн нь тодорхой нөхцөлд суурилан хянагдах болно.

VII. ТӨХӨӨРӨМЖИЙН АЖИЛЛАГААНЫ ЗААВАРЧИЛГАА

1. Төхөөрөмжийг ажиллуулахаас өмнө төхөөрөмжийн бүрэн бүтэн байдлыг шалгана.
2. Төхөөрөмжийг тэгш гадаргууд, халтирахгүй байрлалд байрлуулна.
3. Төхөөрөмжийг хэт их чийгшилтэй, нарны шууд тусгалтай болон шатамхай орчинд хадгалах болон ашиглахгүй байх.
4. Төхөөрөмжийг ашиглаагүй үед унтраах
5. Төхөөрөмжийн ойролцоо шингэн зүйл тавихгүй байх
6. Төхөөрөмжийг зөөвөрлөх явцад унагаах, доргиохыг хориглоно
7. Гүйдэл дамжуулах ил хэсгүүдэд хүрэхийг хориглоно.
8. Цахилгаан хэлбэлзэлтэй тэжээлийн эх үүсвэрт төхөөрөмжийг залгахыг хориглоно.

VIII. ДҮГНЭЛТ

Нярайн инкубатор нь нярайн эрчимт эмчилгээний тасаг дах дутуу төрсөн, эмгэгтэй болон мэс заслын дараах нярайд эмчилгээ сувилгаа хийх тоног төхөөрөмж юм.

Нярайн инкубаторын техник үзүүлэлтийг сонгоход шаардагдах чухал параметр нь температур, харьцангуй чийгшил юм. Энэ нь нярайг шаардлагатай дулаан болон чийгшлээр хангадаг юм. Температур чийгшил удирдлагын хувьд мэдрэгчтэй дэлгэц ашигласан нь нэг том шийдэл болж өгсөн.

Орчин үеийн нярайн инкубатор нь нярайг эмчлэхэд шаардагдах бүх параметрүүдийг мэдэрч, шаардлагатай температурын мэдрүүр, чийгшлийн мэдрүүр, хүчилтөрөгчийн агууламжийг хэмжих, нярайг гуурсаар хооллох, нярайг хүчилтөрөгчөөр хангах, нярайд зүрхний цахилгаан бичлэг хийх, цусан дах хүчилтөрөгчийн агууламжийг хэмжих зэрэг бүхий л параметрийг хэмждэг орчин бүхий бүрэн автоматжуулсан тоног төхөөрөмж юм.

Манай оронд хэрэглэгдэж байгаа нярайн инкубатор нь хүрэлцээ муу улмаас нярайд цаг тухайд нь эмчилгээ сувилгаа хийж чаддаггүй, иймд би тусгай сэдвийн хүрээнд нярайн инкубатор хийсэн. Энэ нь нярайн инкубаторын гол параметр болох температур чийгшлийг мэдэрч нярайд шаардлагатай дулаан болон чийгшлийг өгнө. Нярайн инкубаторын удирдлагын системийг микроконтроллер дээр программчилснаар бүрэн автоматжуулсан системийг удирддаг үүрэгтэй.

Тус бүтээлийг өөр салбарт хөрвүүлж ашиглах боломжтой юм. Үйлдвэрлэгдэж байгаа тоног төхөөрөмжөөс угсрагдаж байгаа нь том давуу талтай.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] “Эрүүл мэндийн салбарын эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн мэдээллийн нэгдсэн сан”
[2] Enilson J.L. Costa, Raimundo C.S.Freire, Jaoa B.A.Silva, “Humidity Control System in Newborn Incubator” (1761)
[3] Armando Darino Ngojo, “Infant incubator” ,2014, (8-17)
[4] Бат-Отгон, “Микроконтроллер”, 2015, (2-р бүлэг)
[5] Бат-Отгон , “Электрон техникийн үндэс”, 2008, (32, 59-61)
[6] “Temperature and Humidity Sensor”
[7] “Нярай судлалын тасаг, 2013”, http://www.saveinfants.mn/?p=1364 (1-4)
[8] Brown, T. (2021). Electrical Engineering Principles. Boston: Academic Press.
[9] Rashid, M. H. (2014). Power Electronics: Circuits, Devices, and Applications. Pearson Education.
[10] Mohan, N. (2012). Power Electronics: Converters, Applications, and Design. John Wiley & Sons.
[11] Krein, P. T. (1998). Elements of Power Electronics. Oxford University Press.
[12] Hart, D. W. (2010). Power Electronics. McGraw-Hill Education.
[13] Rashid, M. H. (2014). Power Electronics: Circuits, Devices, and Applications. Pearson Education. 1-3
[14] Mohan, N. (2012). Power Electronics: Converters, Applications, and Design. John Wiley & Sons. [17] 4-6

СИНУСЛЭГ ПАРАМЕТРИЙН ГАРАЛТТАЙ ИНВЕРТЕРИЙГ УГСАРЧ ХЭРЭГЛЭХ БОЛОМЖИЙН АСУУДАЛ

М.Дэлгэрмэнд[1], Д.Пүрэвдаш[1]
Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Цахилгаан техникийн салбар
**Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: delgermend0922@gmail.com. dashaa@must.edu.mn*

***Хураангуй*: Эрүүл мэндийн тусламж үйлчилгээ үзүүлж байгаа тоног төхөөрөмжүүдийг чанартай цахилгаан энергиэр тэжээх ёстой тул төрөл бүрийн инвертер, UPS ашиглан тоног төхөөрөмжүүдийг цахилгаан энергиэр хангадаг. Гэвч тэдгээр UPS, инвертерийн гаралтын параметрүүд нь синуслэг бус хэмжигдэхүүн байх нь элбэг байдаг. Эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн цахилгаан тэжээл синуслэг бус байх нь тухайн тоног төхөөрөмжүүдийн насжилт, хэвийн үйл ажиллагаанд сөргөөр нөлөөлж байна. Иймээс чанарын шаардлагад нийцсэн цахилгаан энергиэр хангуулахын тулд цэвэр синуслэг параметртэй инвертер ашиглах шаардлагатай боловч энэ нь харьцангуй өндөр үнэтэй байдаг. Чанарын шаардлага хангасан инвертерийг угсарч ашиглах боломжийг судалж CD4047 ашиглан 12 В тогтмолоос 220 В хувьсах цэвэр синуслэг гаралтын параметртэй инвертер бүтээв. Энэхүү биет бүтээл нь 2 кВт хүртэл чадалтай ба хийж гүйцэтгэхэд 64850 төгрөгийн зардлаар угсарч ашиглах боломжтойг нотолсон болно. Үүнтэй ижил техник үзүүлэлттэй инвертерийн зах зээлийн хамгийн бага үнэ нь 90000 төгрөг байна. Синуслэг параметртэй инвертерийг ашигласнаар эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн насжилт, хэвийн найдвартай үйл ажиллагааг хангах чухал ач холбогдолтой.**

Түлхүүр үг: Тогтмол гүйдэл, хувьсах гүйдэл, синуслэг параметр, цахилгаан энергийн чанар, UPS.

I. УДИРТГАЛ

Цахилгаан эрчим хүчний тогтвортой байдал нь цахилгаан хэрэгслийн ажиллагаанд чухал нөлөө үзүүлдэг. Өнөө үед нарны хавтан, салхин турбин зэрэг сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсвэрүүдээс тогтмол гүйдэл үүсэх ба энэ гүйдлийг хувьсах гүйдэл болгон хувиргахын тулд инвертер ашигладаг [1]. Синуслэг гаргалттай инвертер нь хамгийн тогтвортой бөгөөд чанартай гаралтын долгион үүсгэдэг учир өндөр нарийвчлалтай төхөөрөмжүүдэд шаардлагатай байдаг.

Нарийн ажиллагаатай эмнэлгийн тоног төхөөрөмж, лабораторийн багаж хэрэгсэл нь цахилгаан тэжээлийн хэлбэлзэлд маш мэдрэмтгий байдаг. Тэдгээрийн хэвийн ажиллагааг хангахын тулд гаралтын хүчдэл нь синуслэг хэлбэртэй байх шаардлагатай. Хэрэв хүчдэлийн хэлбэлзэл болон хэлбэр нь өөрчлөгдвөл төхөөрөмжийн насжилт багасах, гүйцэтгэл буурах, эвдрэл гарах эрсдэлтэй [2].

Орчин үед цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээ өсөн нэмэгдэж байгаа нь найдвартай, өндөр чанарын инвертерүүдийн эрэлт хэрэгцээг улам бүр нэмэгдүүлж байна. Үүний зэрэгцээ, цахилгаан төхөөрөмжүүдийн урт хугацааны насжилтыг хангахын тулд цэвэр синуслэг гаралтын параметртэй инвертер ашиглах нь зайлшгүй шаардлагатай болж байна.

II. ОНОЛЫН ХЭСЭГ

Инвертер нь тогтмол гүйдлийг хувьсах гүйдэл болгон хувиргах замаар олон төрлийн хэрэглээнд ашиглагддаг. Түүний гаралтын долгионы хэлбэр, давтамж, хүчдэлийн тогтворжилт зэрэг хүчин зүйлс нь тухайн төхөөрөмжийн ажиллагаанд шууд нөлөөлдөг [3]. Тиймээс сонголтоо хийхдээ шаардлагатай тоног төхөөрөмждөө тохирсон инвертер ашиглах нь чухал юм. Түүний ажиллах зарчим нь хэд хэдэн үе шаттай явагддаг. Эхлээд, тогтмол гүйдлийг өндөр хурдтайгаар сэлгэн залгах хэлхээг ашиглан хувьсах гүйдэлтэй төстэй хэлбэрт оруулдаг [4]. Дараа нь, гаралтын долгионыг шүүх болон тогтворжуулах үүрэгтэй шүүлтүүр хэлхээгээр дамжуулж, тогтвортой цэвэр синуслэг долгион үүсгэдэг. Энэ процессын үр дүнд цахилгаан хэрэгсэлд тохиромжтой, тогтвортой хувьсах гүйдэл бий болдог. Инвертер нь хүчдэлийн хэлбэлзлийг хянах, хэт ачаалал болон богино холболтоос хамгаалах системтэй учир цахилгаан төхөөрөмжийн аюулгүй ажиллагааг хангадаг. Орчин үеийн цэвэр синуслэг гаралтын параметртэй инвертерүүд нь өндөр үр ашигтай, бага дулаан ялгаруулалттай байхаар зохион бүтээгдсэн байдаг. Энэхүү инвертерийн ажиллах зарчим нь "тогтмол-хувьсах хувиргалт" дээр суурилдаг. Голлох физик үндэс нь цахилгаан хэлхээний онол, тэгш өнцөгт ба синуслэг долгионы үүсгэлт дээр тулгуурлана [5].

1. Тогтмолоос хувьсахад хувиргах

- CD4047 IC нь осцилляторын үүрэг гүйцэтгэж, 50 Гц эсвэл 60 Гц давтамжтай тэгш өнцөгт долгион үүсгэнэ.

- Энэхүү тэгш өнцөгт долгион нь MOSFET эсвэл IGBT транзисторуудыг ээлжлэн ON/OFF төлөвт шилжүүлснээр трансформаторын анхдагч ороомогт гүйдэл үүсгэнэ.

- Ингэснээр трансформаторын хоёрдогч ороомогт 220 В хувьсах хүчдэл бий болно.

2. Синуслэг долгион үүсгэх үндэс

- PWM (Pulse Width Modulation): Тэгш өнцөгт долгионоос PWM сигнал үүсгэх замаар илүү жигд хэлбэлзэлтэй дохио гаргаж болно.

- LC Low-pass Filter: Транзисторуудаар PWM долгионыг үүсгээд LC (индукц ба конденсатор) шүүлтүүрээр дамжуулж, өндөр давтамжийн бүрэлдэхүүн хэсгүүдийг устгана. Ингэснээр эцсийн гаралт нь цэвэр синуслэг болно.

3. Трансформаторын үүрэг

Тогтмол гүйдлийг тасралтгүй ээлжлэн өөрчилснөөр трансформаторын ороомогт хувьсах соронзон орон үүснэ. Ингэснээр хоёрдогч ороомогт 220 В хүчдэл индукцлэгдэнэ [6].

Инвертерийн төрлүүд

- Синуслэг инвертер – Өндөр чанартай хувьсах гүйдэл үүсгэдэг бөгөөд мэдрэмтгий цахилгаан хэрэгсэлд тохиромжтой.
- Модификацтай синуслэг (Modified Sine Wave) инвертер–Илүү хямд боловч зарим төхөөрөмжтэй тохирохгүй байж болно.
- Чадлын инвертер (Power Inverter)–Аж үйлдвэрийн тоног төхөөрөмжид ашигладаг өндөр хүчин чадалтай хувиргагч [7].

1. Инвертерүүдийг ангилах аргууд

Инвертерүүдийг дараах үндсэн 4 ангиллаар ялгаж үзэж болно:

- Гаралтын долгионы хэлбэрээр
- Хяналтын арга барилаар
- Фазын тоогоор
- Хэрэглээний чиглэлээр

ГАРАЛТЫН ДОЛГИОНЫ ХЭЛБЭР

ХҮСНЭГТ 1

Төрөл	Давуу тал	Сул тал	Хэрэглээ
Тэгш өнцөгт долгион	Энгийн бүтэцтэй, хямд	Тогтмол гүйдэлтэй төхөөрөмжүүдэд тохиромжтой	Бага чадлын хэрэгсэл
Трапец	Илүү тогтвортой олон хэрэглээнд тохиромжтой	Хэт халалт, цахилгаан хөндлөнгийн нөлөө их	Компьютер, гэрийн цахилгаан хэрэгсэл
Синуслэг долгион	Өндөр үр ашигтай, бүх төрлийн төхөөрөмжид тохиромжтой	Үнийн хувьд өндөр	Эмнэлгийн тоног төхөөрөмж

Тэгш өнцөгт долгионы инвертер нь хамгийн энгийн бөгөөд бага хүчин чадалтай хэрэглээнд тохиромжтой бол синуслэг долгион нь өндөр чанартай эрчим хүч шаарддаг төхөөрөмжүүдэд ашиглагддаг.

ХЯНАЛТЫН АРГААР

ХҮСНЭГТ 2

Төрөл	Онцлог	Давуу тал	Сул тал
PWM (Pulse Width Modulation)	Өргөн хэрэглэгддэг, үр ашигтай	Өндөр давтамжийн хяналт, эрчим хүчний хэмнэлт	Илүү төвөгтэй схем
SPWM (Sinusoidal PWM)	Жигд синуслэг долгион гаргана	Дуу чимээ багатай, өндөр хүчин чадалтай	Ослын хамгаалалт шаардлагатай
VFD (Variable Frequency Drive)	Давтамж өөрчлөх боломжтой	Моторын хурдыг тохируулахад тохиромжтой	Өндөр өртөгтэй

PWM инвертерүүд нь хамгийн өргөн хэрэглэгддэг, харин VFD инвертер нь моторын хурдыг тохируулахад зориулагдсан байдаг.

ФАЗЫН ТООГООР

ХҮСНЭГТ 3

Төрөл	Онцлог	Хэрэглээ
1 фазын инвертер	220 В хувьсах гүйдэл үүсгэдэг	Гэр ахуйн хэрэглээ
3 фазын инвертер	380 В тогтмол гүйдэл үүсгэдэг	Аж үйлдвэрийн мотор, өндөр чадлын төхөөрөмж

1 фазын инвертер нь гэр ахуйн хэрэглээнд өргөн ашиглагддаг бол 3 фазын инвертер нь аж үйлдвэр, моторын удирдлагад хэрэглэгддэг [8].

ХЭРЭГЛЭЭНИЙ ЧИГЛЭЛЭЭР

ХҮСНЭГТ 4

Төрөл	Онцлог	Хэрэглээ
Нарны инвертер	MPPT технологитой	Нарны эрчим хүчний систем
UPS инвертер	Түргэн сэлгэлттэй	Компьютер, эмнэлгийн тоног төхөөрөмж
Hybrid инвертер	Нарны болон сүлжээний эрчим хүчийг зохицуулна	бие даасан цахилгаан хангамжийн систем
Моторын инвертер	Давтамжийн хяналттай	Үйлдвэрийн мотор, цахилгаан машин

Нарны инвертер нь сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсвэрээс эрчим хүч авахад зориулагдсан бол UPS инвертер нь цахилгааны тасалдалд ажиллах зориулалттай.

Инвертерүүдийн ялгаа нь тэдний гаралтын хэлбэр, хяналтын систем, фазын тоо, хэрэглээнд үндэслэн тодорхойлогддог. Хэрэв өндөр чанартай, найдвартай эрчим хүч хэрэгтэй бол синуслэг параметрийн гаралттай инвертер сонгох нь чухал байдаг. Харин хөдөлгүүрийн хурдыг тохируулах бол VFD инвертер хэрэгтэй.

1. PWM Инвертерийн тооцоолол

PWM инвертерийн хамгийн чухал параметр нь ажиллах давтамж (switching frequency) болон үеийн өргөн (duty cycle) юм.

PWM давтамжийн тооцоо

PWM давтамжийг дараах томьёогоор тодорхойлно:

$$f = \frac{1}{T} \qquad (1)$$

f- Давтамж (Гц)

T-Давтамжийн нэг циклд зарцуулах хугацаа (секунд)

2. SPWM Инвертерийн тооцоолол

SPWM инвертерийн гаралтын хүчдэлийг дараах томьёогоор тодорхойлно:

Vrms-Гаралтын хувьсах хүчдэл

dc-Оролтын тогтмол хүчдэл

M-Давтамжийн индекс (Modulation Index), 0-1 хооронд байдаг

3. Давтамж хувиргагчийн (VFD) тооцоолол

VFD инвертерийн гаралтын давтамжийг өөрчлөх замаар моторын хурдыг тохируулдаг. Хурдыг дараах томьёогоор тодорхойлно:

$$n = \frac{120*f}{P} \qquad (2)$$

n-Эргэлтийн хурд (rpm)

f-Инвертерийн гаралтын давтамж (Гц)

P - Хөдөлгүүрийн туйлын тоо

4. Инвертерийн шаардлагатай чадлыг тооцоолоход дараах томьёог ашиглана:

$$P_{inverter} \frac{P_{load}}{\mu} \qquad (3)$$

$P_{inverter}$*- Инвертерийн чадал (Вт)*
P_{load}*- Холбогдох ачааллын чадал (Вт)*
μ - Инвертерийн үр ашиг (85-95%)

Цахилгаан эрчим хүчийг хувьсахад шилжүүлэхдээ синуслэг долгион болон тэгш өнцөгт долгион гэсэн үндсэн хоёр төрлийн гаралт гаргаж болно. Эдгээр долгионы хэлбэрүүд нь өөр өөр онцлогтой бөгөөд хэрэглээ, үр ашиг, төхөөрөмжүүдэд үзүүлэх нөлөөгөөрөө ялгаатай [9].

ОНЦЛОГ

ХҮСНЭГТ 5

Синуслэг долгион	Тэгш өнцөгт долгион
Синуслэг хэлбэртэй долгион	Огцом өсөлт, уналттай тэгш өнцөгт хэлбэртэй долгион
Эрчим хүчний алдагдал бага	Синуслэг долгионоос хямд өртөгтэй
Өндөр үнэтэй боловч бүх төрлийн төхөөрөмжид тохиромжтой	Өндөр давтамжийн хөндлөнгийн нөлөөтэй

СИНУСЛЭГ ДОЛГИОНЫ ХАРЬЦУУЛАЛТ

ХҮСНЭГТ 6

Синуслэг долгион		
Давуу тал	Сул тал	Хэрэглээ
Бүх төхөөрөмжтэй нийцдэг - мотор, компрессор, эмнэлгийн тоног төхөөрөмж, мэдрэмтгий электроникд хамгийн тохиромжтой	Үнийн хувьд өндөр – Синуслэг долгион үүсгэхэд илүү нарийн хяналт, дэвшилтэт электроник шаардлагатай	• Гэрийн цахилгаан хэрэгсэл – Телевиз, хөргөгч, угаалгын машин • Эмнэлгийн тоног төхөөрөмж – MRI, рентген аппарат, лабораторийн хэрэгсэл гэх мэт. Аудио систем – Өндөр чанартай дуугаралт шаардлагатай төхөөрөмжүүд
Дуу чимээ багатай – Инвертерээс үүсэх цахилгаан соронзон хөндлөнгийн нөлөө бага	Цахилгаан схем нь төвөгтэй – PWM болон SPWM ашиглах шаардлагатай	
Эрчим хүчний өндөр үр ашигтай – Цэвэр долгион тул дулаан үүсэлт бага,		
Синуслэг долгион		
Давуу тал	Сул тал	Хэрэглээ
төхөөрөмжид хор хөнөөлгүй		

ТЭГШ ӨНЦӨГТ ДОЛГИОН

ХҮСНЭГТ 7

Тэгш өнцөгт долгион		
Давуу тал	Сул тал	Хэрэглээ
Хялбар бүтэц, хямд үнэтэй – Хамгийн энгийн инвертерүүд тэгш өнцөгт долгион үүсгэдэг.	Электроник төхөөрөмжүүдэд тохиромжгүй – Телевиз, компьютер, мотор зэрэг төхөөрөмжийг гэмтээх эрсдэлтэй	• Чийдэн, халаагч зэрэг энгийн хэрэгсэл • Зарим тогтмол гүйдэлтэй цахилгаан хэрэгсэл • Бага оврын цахилгаан үүсгүүрүүд (UPS-ийн энгийн загваруд)
Энгийн төхөөрөмжүүдэд тохиромжтой – Чийдэн, халаагч зэрэг энгийн хэрэгсэлд ашиглаж болно	Дуу чимээ ихтэй – Өндөр давтамжийн гармоник үүсгэдэг тул мотор хэт халж, ажиллах үед шуугиан гаргадаг	
Үйлдвэрлэхэд амархан – Схем нь энгийн тул бага өртөгтэй.	Бага үр ашигтай – Гаралтын хэлбэр нь тэгш бус учраас ихэнх төхөөрөмж дээр тогтвортой ажиллахгүй.	

III. СУДАЛГААНЫ ХЭСЭГ

Инвертерийн үндсэн техникийн үзүүлэлтүүд нь түүний хүчин чадал, гаралтын долгионы хэлбэр, үр ашиг, оролт-гаралтын хүчдэл, давтамж зэрэг гол параметрүүдээс бүрддэг.

ТЕХНИК ҮЗҮҮЛЭЛТҮҮД

ХҮСНЭГТ 8

Үзүүлэлт	Тайлбар
Оролтын хүчдэл	12 В, 24 В, 48 В, 96 В, 120 В гэх мэт (Батарей, нарны хавтан, эсвэл өөр эх үүсвэрээс хамаарна)
Гаралтын хүчдэл	110 В, 220 В, 380 В (Инвертерийн төрлөөс хамаарч өөр байж болно)
Гаралтын давтамж	50 / 60 Гц (Улс орноос хамаарна)
Гаралтын долгионы хэлбэр	Цэвэр синуслэг , Муруй синуслэг , Тэгш өнцөгт долгион
Гаралтын чадал	300 Вт, 500 Вт, 1000 Вт, 3000 Вт, 5000 Вт, 10 кВт+
Үр ашиг	85% - 98% (Цэвэр синуслэг инвертерүүд илүү үр ашигтай)
Гармоник гажуудал	<3% (Цэвэр синуслэг), 20-30% (Муруй синуслэг)
Ачааллын төрөл	Индуктив (мотор, компрессор, хөргөгч), Резистив (гэрэл, халаагуур),

Синуслэг гаралттай инвертер хийхэд шаардлагатай гол бүрэлдэхүүн хэсгүүд

1. Тогтмолоос хувьсахад хөрвүүлэгч
   - H-Bridge (H-гүүр) хэлхээ →MOSFET эсвэл IGBT ашиглан хувьсах гаргана.
   - PWM эсвэл SPWM хяналтын хэлхээ → Синуслэг хэлбэрийг үүсгэнэ.
2. Фильтерийн хэсэг

- LC Фильтр-Өндөр давтамжийн үүсгүүрээс синуслэг хэлбэр гаргана.
- LCL Фильтр→ (Гармоник гажуудлыг хамгийн бага байлгадаг)

3. Гаралтын хүчдэлийн хяналт
- Автомат хүчдэл тогтворжуулагч
- (AVR) PID эсвэл PI хяналтын систем

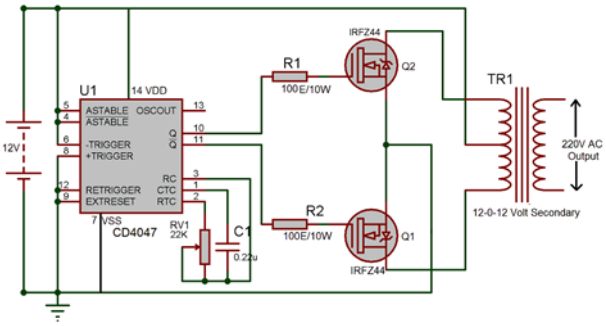
4. Хамгаалалтын систем
- Хэт ачааллаас хамгаалах
- Температурын хамгаалалт
- Богино холболтоос хамгаалах

Инвертерүүдийн гаралтын долгионы хэлбэр нь үнэ, үр ашиг, хэрэглээний тохиромжтой байдал зэрэгт шууд нөлөөлдөг [10].

СИНУСЛЭГ ДОЛГИОН БА БУСАД ДОЛГИОНЫ ХЭЛБЭРИЙН ЭДИЙН ЗАСГИЙН ХАРЬЦУУЛАЛТ

ХҮСНЭГТ 9

Үзүүлэлт	Тэгш өнцөгт долгион	Муруй синуслэг	Цэвэр синуслэг
Үнийн түвшин	Хамгийн хямд	Дундаж	Хамгийн өндөр
Бүрэлдэхүүн хэсгийн өртөг	Хамгийн хямд	Дундаж	Хамгийн өндөр
Хэрэглээний бат бөх байдал	Богино насжилттай	Дунд зэрэг	Урт хугацааны ашиглалт



1-р зураг. CD4047 IC ашигласан 12 В тогтмолоос 220 В хувьсах инвертер хэлхээ

Схемийн ажиллах зарчим
- Потенциометр болон конденсатор нь генераторын давтамжийг тохируулна.
- Q ба $\overline{Q}$ гаралтаас хоёр MOSFET-г ашиглалтаар ээлжлэн асааж унтраах хяналтын сигнал гаргана.
- IRFZ44N MOSFET (Q1, Q2) нь 12 В тогтмол хүчдэлийг өндөр давтамжтай унтрааж, асааж өгнө.
- R1, R2 эсэргүүцэл нь MOSFET-ийн gate дээрх гүйдлийг хязгаарлана.
- CD4047-ийн Q гаралт Q1-ийг асаахад Q2 унтарна, харин $\overline{Q}$ гаралт Q2-ийг асаахад Q1 унтарна.
- Трансформатор нь 12 В-оос 220 В хүртэл өсгөх үүрэгтэй. 12В-0-12В ороллттой 220В хувьсах гаралттай трансформатор ашиглана.
- MOSFET-үүд асах/унтрах үйлдлийг ээлжлэн хийх үед хувьсах гүйдэл үүсэж, трансформатор 220 В болгон өсгөнө [11].

ЭДИЙН ЗАСГИЙН ТООЦОО

ХҮСНЭГТ 9

№	Бүрэлдэхүүн хэсгүүд	Тоо хэмжээ	Үнэ
1	CD4047	1	1500
2	IRFZ44N	2	2000
3	Конденсатор	1	150
4	Эсэргүүцэл	3	200
5	Хөргөгч	2	1000
6	Трансформатор	1	20000
7	Акумлятор	1	40000
8	Нийт	11	64850

Энэхүү CD4047 ба IRFZ44 ашигласан 12 В-оос 220 В инвертерийн схемийн онцлог нь:
- CD4047 нь хяналтын схемийг нэг дор шийдэж байгаа тул бага эд анги шаардлаг.
- MOSFET (IRFZ44) ашигласнаар өндөр үр ашигтайгаар хүчдэл өсгөх боломжтой.
- CD4047 нь 50 Гц-ийн долгионыг гаргаж, хоёр MOSFET-г ээлжлэн асааж/унтраана.
- IRFZ44 MOSFET-үүд нь бага эсэргүүцэлтэй тул халаалт бага, үр ашиг өндөр.
- Хос ороомогтой трансформатор ашигладаг. (12 В-0-12 В)
- Трансформатор нь 12 В-оос 220 В хүртэл хүчдэлийг өсгөнө [12].

Синуслэг гаралтын параметртэй инвертер нь анхны өртөг өндөр боловч урт хугацаанд эдийн засгийн үр ашигтай байдаг.
- Синуслэг долгион: Өндөр өртөгтэй боловч эрчим хүчний үр ашиг өндөр, тоног төхөөрөмжийн ашиглалтын хугацааг уртасгадаг.
- Трапец хэлбэртэй долгион: Анхны өртөг бага боловч цахилгаан хэрэгслийн элэгдэл хурдан явагддаг тул урт хугацаанд засвар, шинэчлэлтийн зардал өндөр байдаг.
- Тэгш өнцөгт долгион: Хамгийн бага өртөгтэй ч орчин үеийн цахилгаан хэрэгсэлд тохиромжгүй, их хэмжээний эрчим хүч алдагдалтай байдаг.

Инвертерийн гаралтын параметр эмнэлгийн тоног төхөөрөмжид үзүүлэх нөлөөлөл

Эмнэлгийн тоног төхөөрөмжүүд маш чанартай цахилгаан энергийг шаардлаг. Инвертерийн гаралтын хэлбэр нь төхөөрөмжийн найдвартай байдал, ажиллагааны тогтвортой байдал, нарийвчлал, эвдрэл, хүний аюулгүй байдал зэрэгт шууд нөлөөлнө.

Инвертерийн гаралтын параметр нь дараах гол хүчин зүйлсэд нөлөөлнө [13].
- Эмнэлгийн төхөөрөмжийн цахилгаан тэжээлийн тогтвортой байдал
- Электрон удирдлагын системүүдийн хэвийн ажиллагаа

- Мотор, компрессор, насос бүхий төхөөрөмжүүдийн ажиллах горим, халалт
- Өндөр нарийвчлалтай хэмжилт, анализ хийх тоног төхөөрөмжийн алдаа гарах магадлал
- Сүлжээний интерференц (цахилгааны долгионы гажилт)
- Хүний амь насанд нөлөөлөх эрсдэл

Эдийн засгийн судалгаанаас харахад, синуслэг гаралтын параметртэй инвертер ашиглах нь урт хугацаанд тоног төхөөрөмжийн ашиглалтын хугацааг уртасгаж, нийт зардлыг бууруулах ач холбогдолтой байдаг. Мөн эрчим хүчний хэмнэлт болон засвар үйлчилгээний зардлыг багасгах ач холбогдолтой. Муруй синуслэг инвертер эхлээд бага зардалтай боловч зарим төхөөрөмжинд асуудал үүсгэж, эрчим хүчний үр ашиг бага байдаг. Цэвэр синуслэг инвертер нь өндөр өртөгтэй ч урт хугацааны хувьд илүү хэмнэлттэй, төхөөрөмжүүдийн насжилтыг уртасгана. Анхны хөрөнгө оруулалт өндөр ч урт хугацаанд ашигтай. Ашиглалтын явцад цахилгаан хэмнэлт өндөр тул үр ашигтай [14].

Синуслэг параметрийн ач холбогдол

- Эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн найдвартай ажиллагааг хангана. Жишээлбэл, зүрхний цахилгаан бичлэгийн төхөөрөмж (ECG), тариурын насос зэрэг мэдрэмтгий төхөөрөмжүүд зөвхөн тогтвортой хүчдэлтэй орчинд найдвартай ажиллана.
- Цахилгаан мотор болон компрессорын ажиллагааг сайжруулна. Индуктив ачаалалтай төхөөрөмжүүдэд цэвэр синуслэг долгион хэрэгтэй байдаг.
- Цахилгаан хангамжийн үр ашгийг нэмэгдүүлнэ. Дижитал хэрэгслүүд болон мэдрэмтгий цахилгаан төхөөрөмжүүдийн хувьд цэвэр синуслэг долгион нь илүү тогтвортой ажиллагааг дэмжинэ.
- Хэт халалт, дуу чимээ, хөндлөнгийн нөлөөг бууруулна. Синуслэг гаралтын параметртэй инвертер нь илүү өндөр гүйцэтгэлтэй, эрчим хүчний хэмнэлттэй ажилладаг [15].

IV. ДҮГНЭЛТ

Эрүүл мэндийн тусламж үйлчилгээ үзүүлж байгаа эмнэлгийн тоног төхөөрөмжүүдийг Олон улсын ISO болон үйлдвэрлэгч орны стандартын дагуу өндөр чанартай цахилгаан энергиэр тэжээхийг шаарддаг. Гэвч Монгол улсад ашиглаж байгаа эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн цахилгаан энергийн чанарт төдийлөн анхаардаггүй учраас тэдгээрийн тэжээлийн оролт нь трапец, тэгш өнцөгт, синуслэг бус параметрүүдийн гаралттай UPS болон инвертерүүдийг ашигласнаар тоног төхөөрөмжүүдийн насжилт, хэвийн үйл ажиллагаа доголдох нөхцөлүүд бий болж байна. Ийм учраас урьдчилан сэргийлэхийн тулд синуслэг параметрийн гаралттай UPS болон инвертерийг ашиглахад харьцангуй өндөр үнэтэй байдаг. Энэхүү өгүүллэгийн зорилгын хүрээнд дээрх техник үзүүлэлтийг хангасан, харьцангуй хямд зардлаар CD4047 ашиглан 12 В тогтмолоос 220 В хувьсах синуслэг параметртэй инвертер угсарч ашиглах боломжийг судлаж гүйцэтгэв. Энэхүү угсарсан инвертер нь 2 кВт хүртэл чадалтай, 64850 төгрөгийн зардлаар бүтээсэн ба үүнтэй ижил техник үзүүлэлттэй инвертерийн зах зээлийн хамгийн бага үнэ нь 90000 төгрөг байна. Синуслэг параметртэй инвертерийг ашигласнаар эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн насжилт, хэвийн найдвартай үйл ажиллагааг хангах чухал ач холбогдолтой.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] Smith, J. (2020). Power Inverters and Their Applications. New York: Tech Press.

[2] Johnson, L. (2018). Renewable Energy and Power Conversion. London: Green Energy Publishers.

[3] Brown, T. (2021). Electrical Engineering Principles. Boston: Academic Press.

[4] Rashid, M. H. (2014). Power Electronics: Circuits, Devices, and Applications. Pearson Education.

[5] Mohan, N. (2012). Power Electronics: Converters, Applications, and Design. John Wiley & Sons.

[6] Krein, P. T. (1998). Elements of Power Electronics. Oxford University Press.

[7] Hart, D. W. (2010). Power Electronics. McGraw-Hill Education.

[8] Rashid, M. H. (2014). Power Electronics: Circuits, Devices, and Applications. Pearson Education. 1-3

[9] Mohan, N. (2012). Power Electronics: Converters, Applications, and Design. John Wiley & Sons. [17] 4-6

[10] Erickson, R. W., & Maksimovic, D. (2001). Fundamentals of Power Electronics. Springer Science & Business Media.

[11] Bose, B. K. (2006). Power Electronics and Motor Drives: Advances and Trends. Academic Press.

[12] Kassakian, J. G., Schlecht, M. F., & Verghese, G. C. (1991). Principles of Power Electronics. Addison-Wesley.

[13] Erickson, R. W., & Maksimovic, D. (2001). Fundamentals of Power Electronics. Springer Science & Business Media.

[14] Agelidis, V. G., & Demetriades, G. D. (2002). Power Electronics for Renewable Energy Systems. Wiley-IEEE Press.

[15] Lander, C. W. (1993). Power Electronics. McGraw-Hill.

ДОХИОНЫ ХЭЛИЙГ АВТОМАТЖУУЛАХ БОЛОМЖИЙН АСУУДАЛ

Т.Анхбаяр[1] , Д.Пүрэвдаш[2]
Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Цахилгаан техникийн салбар, Эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн ашиглалт[1, 2]
**Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: ankhbayar9626@gmail.com[1], dashaa@must.edu.mn[2]*

***Хураангуй*: Дохионы хэлний автоматжуулсан хөрвүүлэгч нь сонсгол, хэлний бэрхшээлтэй хүмүүсийн харилцааг хялбаршуулахад чухал үүрэг гүйцэтгэнэ. Энэхүү хөрвүүлэгч нь боловсрол, эрүүл мэнд, олон нийтийн үйлчилгээ, ажлын байр зэрэг салбарт харилцааны шинэчлэл авчирч, хэрэглэгчдэд илүү хүртээмжтэй орчинг бүрдүүлнэ. Автоматжуулсан системийг ашигласнаар багш, эмч, үйлчилгээний ажилтнууд дохионы хэл мэдэхгүй байсан ч үр дүнтэй харилцах боломжтой болно. Мөн 3D дүрслэл, IoT, хиймэл оюун ухааны дэвшилтэт технологийг ашиглан хөдөлгөөнийг өндөр нарийвчлалтай таньж, боловсруулалт хийх боломжтой. Эдийн засгийн хувьд, уламжлалт автоматжуулсан төхөөрөмжүүд өндөр өртөгтэй ($500–$2000) байдаг бол энэхүү шинэ загвар нь ердөө 20–30 долларын өртгөөр үйлдвэрлэгдэх боломжтой тул илүү хямд, хүртээмжтэй шийдэл болох юм.**

Түлхүүр үг: Сонсголын бэрхшээл, сарвуу, хурууны өнцөг, соронзон мэдрэгч, хурууны хөдөлгөөн.

I. ОРШИЛ

Дэлхий даяар ойролцоогоор 466 сая хүн сонсголын бэрхшээлтэй амьдарч байгаагаас 34 сая нь хүүхдүүд байна. Энэ нь дэлхийн нийт хүн амын 5%-ийг эзэлж байгаа бөгөөд 2050 он гэхэд энэ тоо 900 саяд хүрч болзошгүй гэж үздэг бөгөөд тэдний өдөр тутмын харилцаанд дохионы хэл хамгийн чухал үүрэгтэй [1, 2]. Өдөр тутмын харилцаанд дохионы хэл чухал үүрэг гүйцэтгэдэг ч олон нийт бүрэн ойлгохгүй байх нь тэдний нийгмийн оролцоо, харилцаанд тодорхой хэмжээний саад болж, мэдээлэл солилцоонд хүндрэл үүсгэдэг [3]. Технологийн хөгжлийн ачаар дохионы хэлийг автоматжуулах, хөрвүүлэх судалгаа эрчимтэй хөгжсөнөөр мэдрэгчид суурилсан хөрвүүлэгч, хиймэл оюун ухаан, хөдөлгөөн таних системүүд нь чухал ахиц гарч байна. Дохионы хэл таних ухаалаг хөрвүүлэгч бүтээхийн тулд хурууны хөдөлгөөнийг илрүүлэх MPU6050 (хөдөлгөөн мэдрэгч), Flex Sensor (уян мэдрэгч), Vision-based (камерын суурьтай) систем, Hall Sensor (соронзон мэдрэгч) зэрэг мэдрэгчийг судалж, харьцуулсан. Камерын суурьтай систем нь нарийвчлал өндөр боловч орчны гэрэлтүүлгээс хамааралтай, бодит цагийн боловсруулалт удаан байдаг бол уян мэдрэгчүүд хурууны нугаралтыг илрүүлэх боломжтой ч элэгдэлд амархан ордог сул талтай. Харин хөдөлгөөн мэдрэгч нь сарын ерөнхий хөдөлгөөнийг тодорхойлох боломжтой боловч хуруу тус бүрийг ялгаж танихад хэцүү байдаг. Эдгээрийг харьцуулсны үндсэн дээр хуруу бүрийн хөдөлгөөнийг нарийн ялгах боломжтой, удаан эдэлгээтэй, бага эрчим хүч зарцуулдаг Hall Sensor-ийг сонгон ашиглалаа. Энэхүү судалгааны ажлын зорилго нь ESP32, Hall Sensor, MPU6050 мэдрэгчээр сарвууны хөдөлгөөнийг автоматжуулахад оршино. Уг автоматжуулсан хөрвүүлэгч нь хурууны байрлал, сарвууны хөдөлгөөнийг хянаж, урьдчилж хадгалсан өгөгдлийг харьцуулж, Bluetooth-ээр дамжуулан гар утсанд текст илгээх бөгөөд өргөн хэрэглээний үгийг найдвартай таних, хадгалах, дамжуулахыг өгүүллийн зорилгын хүрээнд ашиглалтанд оруулах зорилготой. Энэхүү автоматжуулах хөрвүүлэгч нь сонсголын бэрхшээлтэй иргэдийн харилцааг хөнгөвчлөх, тэдний нийгмийн оролцоог нэмэгдүүлэхэд хувь нэмэр оруулах болно.

II. ОНОЛЫН ХЭСЭГ

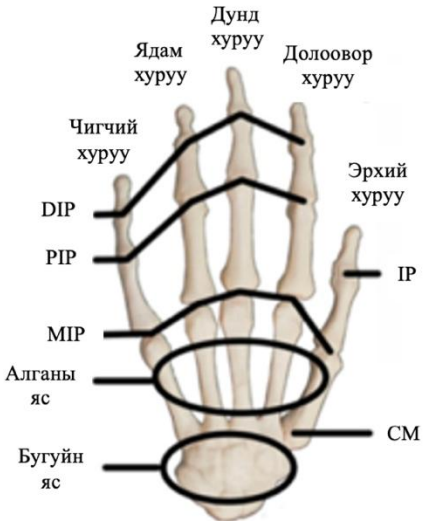
Дэлхий даяар олон сая сонсголын бэрхшээлтэй хүн амьдарч тэдний өдөр тутмын харилцаанд дохионы хэл чухал үүрэг гүйцэтгэдэг. Иймээс технологийн хөгжлийг ашиглан дохионы хэлний автоматжуулсан хөрвүүлэгч бий болгох шаардлага гарч байна. Энэхүү автоматжуулсан хөрвүүлэгч нь дохионы хөдөлгөөнийг мэдрэгч (Hall Sensor)-ээр өргөн хэрэглээний үгийг хөрвүүлэх чадвартай. Сонсголын бэрхшээлтэй хүмүүсийн нийгэмд оролцох оролцоог нэмэгдүүлж, тэдний амьдралыг хөнгөвчлөх гол хэрэгсэл болно. Мөн боловсролын салбарт хөгжлийн бэрхшээлтэй сурагчдад туслах, эмнэлэг, төрийн үйлчилгээ, ажлын байранд хүртээмжийг нэмэгдүүлэхэд өндөр ач холбогдолтой. Технологийн хувьд энэхүү систем нь WiFi/Bluetooth холболттой, IoT дэмждэг төхөөрөмжтэй байх шаардлагатай. Мөн бодит цагийн боловсруулалт хийхийн тулд машин сургалтын өндөр нарийвчлалтай загвар ашиглах нь чухал юм. Хялбар хэрэглэгдэх, хүртээмжтэй интерфэйстэй байх нь хэрэглэгчийн туршлагыг сайжруулна [4].

Бугуй яс ба дээд мөч

Сарвуу нь бугуйн 8 жижиг яснуудаас тогтох ба дөрөв дөрвөөрөө 2 эгнээ үүсгэн байрладаг. Эдгээр нь хоорондоо хавтгай, гулгуур үеэр шуутай шуу бугуйны үеэр холбогдоно. Гарын алга нь таван яснаас тогтоно. Эдгээр нь цааш хурууны шивнүүрүүдтэй холбогдоно. Эрхийн хурууны яс (нэгдүгээр хуруу) хоёр шивнүүртэй байхад бусад дөрвөн хуруу нь гурван шивнүүртэй байна. Энэ хэсэгт нийтдээ 50 орчим булчин байрлах ба маш уян хатан, нарийн төвөгтэй үйлдэл хийхэд зориулагдсан [5].

Зураг 1. Сарвууны яс

Сарвууны ясыг 3 том бүлэгт хуваана. Бугуй (carpus), алга(metacarpus), хурууны шивнүүрүүд (phalanxes) байрлана.

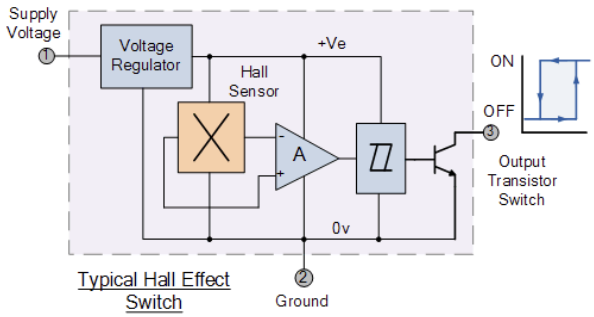


Зураг 2. Гарын сарвууны үе

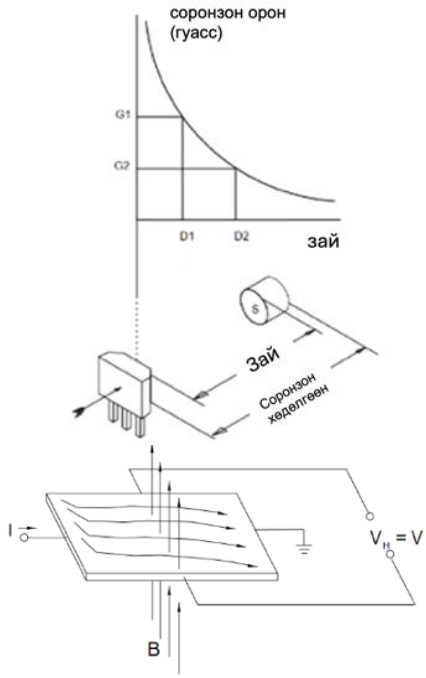
Зураг 3. Гарын сарвуун дээр байрлах мэдрэгчийн байршил

Хүний гарын хөдөлгөөнийг гарын үений өнцгөөр илэрхийлж болох тул гарны анатомийн бүтцээс хамаарч мэдрэгчийн тоо, байрлалыг тодорхойлж болно. Зураг 2-т үзүүлснээр хүний гарын чигчий, ядам, дунд, долоовор хуруунууд нь distal interphalangeal joint (DIP), proximal interphalangeal joint (PIP), metacarpophalangeal joint (MP) гэсэн үндсэн үеүдэд хуваадаг. Харин эрхий хуруу нь interphalangeal joint (IP) болон MP гэсэн 2 үетэй байдаг. Гар эргүүлэхийн тулд MP нь carpometacarpal joint (CM)- тай холбогддог. Тиймээс хурууны өнцгийг хэмжихийн тулд мэдрэгчийг дээр дурдсан үенүүдийн ойролцоо байрлуулсныг Зураг 3-аас харж болно.

Соронзон орон мэдрэгч нь гадны соронзон орны нөлөөгөөр идэвхэждэг мэдрэгч юм. Гаралтын дохио нь мэдрэгчийн эргэн тойрон дахь соронзон орны нягтын функц юм. Мэдрэгчийн соронзон урсгалын нягт нь урьдчилан тогтоосон босгоос хэмжээнээс давсан үед илрүүлж Hall Voltage (V_H)-ийн гаралтын хүчдэлийг үүсгэдэг. Гаралтын хүчдэл нь хүчтэй соронзон орны нөлөөнд автсан ч хэдхэн микровольт байж болох тул мэдрэгчийн дохиог сайжруулах зорилгоор тогтмол гүйдлийн өсгөгч, логик сэлгэн залгах хэлхээ, хүчдэлийн тогтворжуулагчтай байдаг [6].



Зураг 4. Соронзон орон мэдрэгчийн схем



Зураг 5. Соронзон орон болон хоорондох зайны хамаарал

Соронзон орон мэдрэгч нь аналог эсвэл тоон гаралттай байдаг. Аналоги дохиог өсгөгчийн гаралтаас шууд авч гаралтын хүчдэл нь соронзон оронтой шууд пропорциональ байна [7].

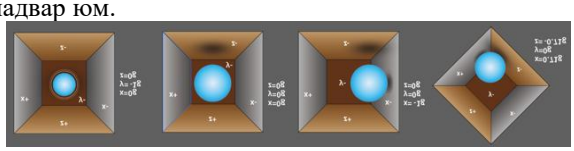
$$V_H = R_H\left(\frac{I}{t} * B\right)$$

V_H- гаралтын хүчдэл
R_H- Холл эффектийн коэффициент
I- Мэдрэгчээр дамжих гүйдэл
t- мэдрэгчийн зузааныг мм-ээр илэрхийлнэ
B- Теслас дахь соронзон урсгалын нягт

Соронзон орны хүч (Гаусс) нь мэдрэгчээс соронз хүртэлх зайнаас хамаарч буурдаг болохыг зураг 5-д үзүүллээ. Соронзон орон мэдрэгч нь соронзон орны өөрчлөлтийг цахилгаан дохио болгон хувиргадаг. Зай ихсэхэд соронзон орны хүч багасдаг.

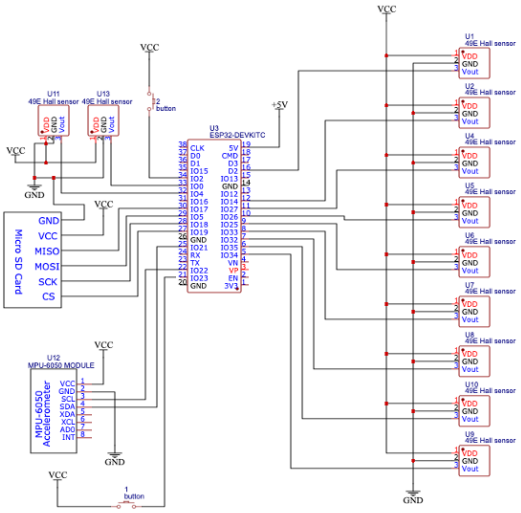
Хурдатгал хэмжигч модиль

MPU-6050 нь 6 тэнхлэгтэй (3 тэнхлэгт гироскоп, 3 тэнхлэгт хурдатгал хэмжигчийг хослуулсан) хөдөлгөөнийг хянах төхөөрөмж юм. Хөдөлгөөн, хурдатгал, эргэлтийн өөрчлөлтийг илрүүлэх боломжтой. Акселерометр нь пьезо цахилгаан эффектийн зарчмаар ажиллаж зарим материалын механик үйлчлэлийн хариуд цахилгаан цэнэг үүсгэх чадвар юм.



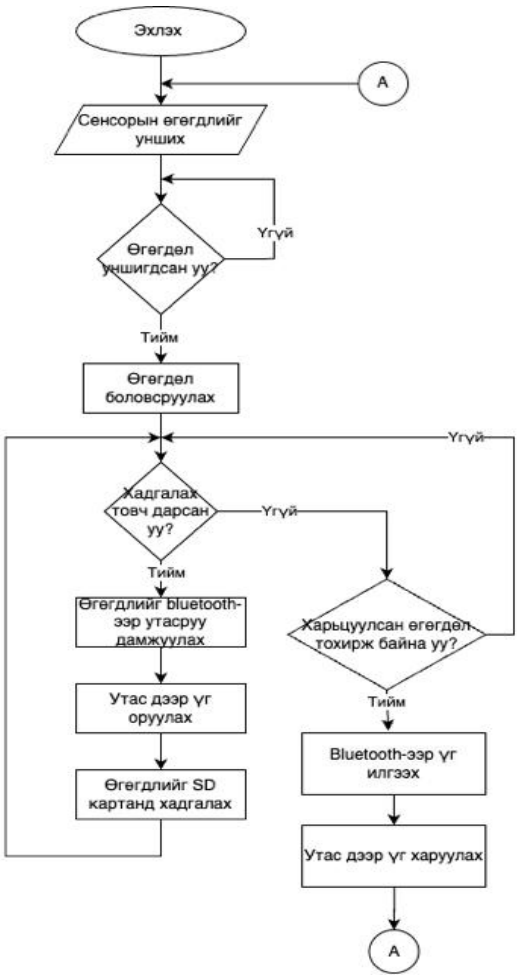
Зураг 6. MPU-6050 -ын ажиллах зарчим

Зураг 6д дээрх шиг шоо хэлбэртэй хайрцгийг дотор нь жижиг бөмбөгтэй гэж төсөөлөөд үзвэл энэ хайрцагны ханыг пьезо цахилгаан талстаар хийсэн. Хайрцгийг хазайлгах бүрт таталцлын нөлөөгөөр бөмбөг хазайсан чиглэлд шилжихээс өөр аргагүй болдог. Бөмбөлөг мөргөлдөж буй хана нь жижиг пьезо цахилгаан гүйдэл үүсгэдэг. Кубоид бүхэлдээ гурван хос эсрэг талын хана байдаг. Хос бүр нь 3D орон зай дахь тэнхлэгтэй тохирч байна: X, Y, Z тэнхлэгүүд. Пьезо цахилгаан хананаас үүссэн гүйдлээс хамааран бид налуугийн чиглэл, түүний хэмжээг тодорхойлж болно [8].



Зураг 7. Цахилгаан схем

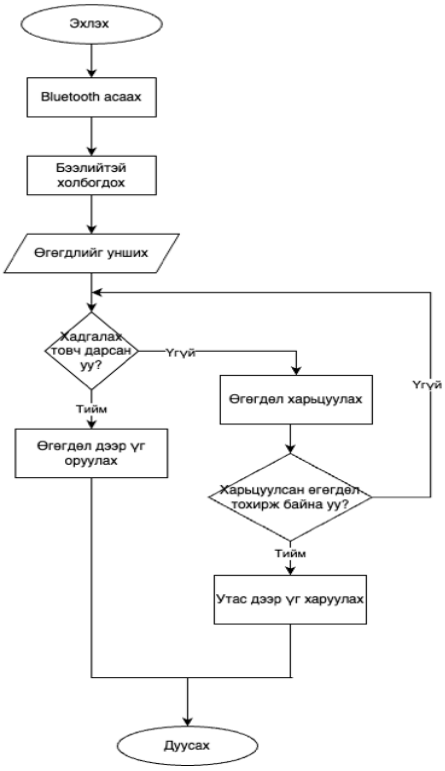
Зураг 7-д хөрвүүлэгчийн зарчмын схемийг харуулсан байна. Хөрвүүлэгч нь ESP32 нь холболтын утсаар 5В-оор тэжээгддэг.



Зураг 8. Хөрвүүлэгчийн алгоритм

49E болон MPU-6050 сенсорууд нь микроконтроллероос гарах 3.3В-оор тэжээгддэг. Эдгээр элементүүд мөн микроконтроллер дээр байрлах газардуулга дээр газардана. Харин Button1 нь 4 хөлтэй товч бөгөөд нэг хөл нь 3.3В-оор тэжээгддэг. Нөгөө хөл нь микроконтроллертой холбогддог [9]. Зураг 8-д хөрвүүлэгчийг эхлээд асааж дараа мэдрэгчүүдээс ирсэн өгөгдлүүдийг уншиж микроконтроллерт боловсруулалт хийгдэх эсийг шалгана. Микроконтроллер дээр урьдчилж бичсэн өгөгдөлтэй тохирч байвал өгөгдлийг bluetooth-ээр дамжуулахад бэлэн болно.

Bluetooth нь утастай холбогдож эхэлбэл өгөгдлийг утас руу дамжуулснаар программ дахиж эхэлнэ. Зураг 9-д утсанд дээрх хэвлэх алгоритмыг харуулсан байна. Энэ алгоритм нь утасны bluetooth-ыг асааж ESP32 -ын bluetooth-тэй холбогдсоноор өгөгдлийг дамжуулна.



Зураг 9. Утасны алгоритм

Урьдчилж бичсэн өгөгдөл дээр цагаан толгойн үсгүүдийг дамжуулахаар бичигдсэн байна.

III. СУДАЛГАА

Дохионы хэлийг хөрвүүлэгч бүтээхэд олон төрлийн мэдрэгч ашиглах боломжтой. Сарвууны хөдөлгөөнийг таних технологиуд нь өөр өөр зарчим дээр суурилсан байдаг тул үнэн зөв байдал, нарийвчлал, ажиллагааны найдвартай байдал, өртөг, хэрэглээний хүрээ зэргийг харгалзан тохиромжтой мэдрэгчийг сонгох шаардлагатай.

Хүснэгт 1. Судалгаа

Мэдрэгч	Үйл ажиллагааны зарчим	Давуу тал	Сул тал	Хэрэглээ
Уня сенсор	Хөдөлгөөнтэй хамт эсэргүүцэл өөрчлөгдөнө	Хурууны хөдөлгөөнийг мэдрэх боломжтой, хэрэглэхэд хялбар	Удаан хэрэглэснээр элэгдэл үүсэх магадлалтай, нарийвчлал дунд зэрэг	Хурууны хөдөлгөөн хэмжих, уян хатан мэдрэгчтэй хөрвүүлэгч
Хурдатгал хэжигч (MPU-6050)	Хурдатгал, чиглэлийн өөрчлөлтийг мэдрэнэ	Хурууны ерөнхий хөдөлгөөн, чиглэл таних чадвартай	Жижиг хөдөлгөөн, нарийн байрлал илрүүлэхэд тохиромжгүй	Хурууны хөдөлгөөний хазайлт, чиглэлийг тодорхойлох
Vision (Камер+AI)	Дүрс боловсруулалтаар хөдөлгөөнийг таних	Дохионы хэлний хөрвүүлэхэд мэдрэгчүйгээр ашиглах боломжтой	Гэрлийн нөлөөнд автах, бодит цагийн боловсруулалт өндөр нөөц шаардлаг	Хурууны том хөдөлгөөнийг таних, AI суурьтай систем
Соронзон мэдрэгч	Соронзон орны өөрчлөлтийг мэдрэх	Хурууны байрлал, өнцгийг тогтвортой хэмжих	Соронзон орны гадны нөлөөнд автамтгай	Хурууны үеийн өнцөг хэмжих, хурууны хөдөлгөөн тодорхойлох

Харилцааны хэрэгслийг сайжруулахад хөдөлгөөн, байрлал, өнцгийг өндөр нарийвчлалтай илрүүлэх мэдрэгч шаардлагатай. Дээрх харьцуулалтаас харахад:

-Flex Sensor нь хурууны хөдөлгөөнийг мэдрэх ч удаан хугацааны хэрэглээнд элэгдэл үүсэж болзошгүй.

-Accelerometer нь динамик хөдөлгөөнийг хянахад сайн боловч жижиг хөдөлгөөнийг бүрэн илрүүлж чадахгүй.

-Vision (камер + AI) нь өндөр түвшний боловсруулалт хийх боловч гэрэлтүүлгийн нөлөөнд амархан автдаг.

-Hall-effect Sensor нь сарвууны үений өнцгийг хэмжих боломжтой ч соронзон орчны гадны нөлөөнд мэдрэг.

-Stretch Sensor нь уян хатан, нарийвчлалтай боловч материалын элэгдэл хурдан явагдана.

-Magnetic Sensor нь өндөр нарийвчлалтай, хурууны хөдөлгөөн, сарвууны байрлалыг тогтвортой илрүүлэх чадвартай.

Дохионы хэлийг таних боломжтой 6 төрлийн мэдрэгчийг харьцуулж, хамгийн оновчтой шийдэл болох Magnetic Sensor-ийг сонгон автоматжуулсан хөрвүүлэгч бүтээх үндэслэлийг тодорхойллоо. Энэ нь хөдөлгөөн, хурууны байрлалыг өндөр нарийвчлалтай хэмжих, тогтвортой ажиллах, бодит цагийн боловсруулалт хийх давуу талтай тул сонсгол болон харааны бэрхшээлтэй хүмүүсийн харилцааг сайжруулах боломжтой технологи болохыг харуулж байна [10].

IV. ӨГӨГДЛИЙГ БОЛОВСРУУЛАХ

Дохионы хэлийг үсгэнд хөрвүүлэх хөрвүүлэгч системийн техник хангамж нь хэд хэдэн хэсгээс бүрдэнэ. Үүнд:

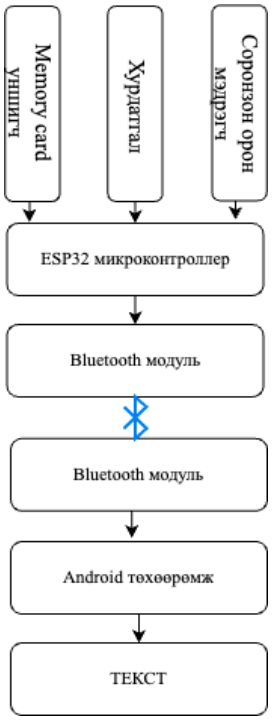
1. Хурууны үений өнцгийг бүртгэх соронзон орон мэдрэгч
2. Мэдээллийг хүлээн авч боловсруулах микроконтроллер
3. Боловсруулсан мэдээллийг дамжуулах USB холболтын утас эсвэл Bluetooth дамжуулагч
4. Боловсруулсан мэдээллийг гаргах боломжтой Android утас эсвэл компьютер

Зураг 10-д хөрвүүлэгчид суурилуулсан мэдрэгч нь сарвууны хөдөлгөөний өгөгдөлийг бүртгэн дараа нь микроконтроллер өгөгдөл цуглуулах процессыг эхлүүлж, боловсруулсан өгөгдлийг Serial Peripheral Interface (SPI) интерфейсээр хүлээн авч, USB холболтын шугам эсвэл Bluetooth дамжуулагчаар дамжуулан ухаалаг утсанд хүлээн авдаг. Эцэст нь утас сарвууны хөдөлгөөнийг техт-д хөрвүүлдэг. Автоматжуулсан хөрвүүлэгчийн ажлах явцыг хурууны хөдөлөөн нь тайван байдалд байх үеийн өнцгийг нь тэг градус гэж үзсэн. ESP32 нь хурдатгал болон соронзон мэдрэгчээс мэдээлэл хүлээн авдаг. Дараа нь ESP32 өгөгдлийг дохионы хэлийг таних кодыг ашиглан аливаа дохиог боловсруулахад ашигладаг.

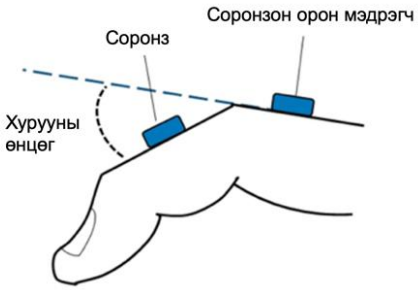
Хүснэгт 2. Аналоги гаралт

Өнцөг	Аналог гаралт
0^0	2950<X<3100
45^0	2500<X<2900
90^0	2100<X<2450

Мэдрэгчээс ирсэн дохиог боловсруулсны дараа Bluetooth-ээр өгөгдлийг гаралтын бүрэлдэхүүн хэсэг рүү илгээдэг. Хурдатгал ба соронзон орон мэдрэгч нь нийт арван аналог оролтыг дамжуулдаг [11].



Зураг 10. Ажиллагааны бүдүүвч



Зураг 11. Хуруун дээрх мэдрэгчийн байрлал

Дохионы хэл нь хурууны хөдөлгөөнөөр илэрхийлэгдэх тоон өгөгдлийг үг болгон хөрвүүлэгддэг. Тиймээс хурууны хөдөлгөөнийг өнцгийг кодлох боломжтой болсон. Хурууны хөдөлгөөн болох атгах үеийг 90^0, тэнийлгэсэн үеийг 0^0 , хагас атгасан үеийг 45^0 гэсэн 3 хэсэгт хуваасан.

V. ҮР ДҮН БУЮУ ХЭРЭГЖИЛТ

Дохионы хэлийг автоматжуулах технологи нь сонсголын бэрхшээлтэй болон ярих чадваргүй хүмүүсийн харилцааг сайжруулах, нийгэмд илүү хүртээмжтэй орчин бүрдүүлэхэд чухал ач холбогдолтой. Энэхүү технологи нь AI, мэдрэгч, машин сургалт ашиглан дохионы хөдөлгөөнийг таньж, текст болон дуу хоолой болгон хөрвүүлдэг [12].

1. Сонсголын бэрхшээлтэй хүмүүст туслах

Ойлголцлыг хялбаршуулах – Сонсголын бэрхшээлтэй хүмүүс бусадтай амархан харилцах боломжтой болно.

Хэлний саадыг арилгах – Дохионы хэлийг мэдэхгүй хүмүүст зориулж бодит цагийн боловсруулалт хийгдэнэ.

Нийгмийн хүртээмжийг нэмэгдүүлэх – Хүн бүр хоорондоо үл ойлголцолгүй харилцах нөхцөл бүрдэнэ.

2. Боловсрол, эрүүл мэнд, ажлын байранд ашиглах

Боловсрол – Сонсголын бэрхшээлтэй сурагчид багшийн яриаг шууд ойлгож, сурах үйл явц сайжирна.

Эрүүл мэнд – Эмнэлгийн ажилтнууд дохионы хэлээр ярьдаг өвчтөнүүдтэй шууд харилцах боломжтой болно.

Ажлын байр – Хөгжлийн бэрхшээлтэй хүмүүс ажиллахад илүү хялбар болно.

3. Технологийн давуу тал

AI ба машин сургалт ашиглан илүү өндөр нарийвчлалтай боловсруулалт хийх

3D хөдөлгөөнт дүрслэлээр сарвууны хөдөлгөөнийг бодит цагт харуулах

IoT, ухаалаг төхөөрөмжтэй холбож, автоматжуулсан систем бий болгох

4. Дохионы хэлийг хүн бүрт ойлгомжтой болгох

Энэ технологи нь зөвхөн сонсголын бэрхшээлтэй хүмүүст зориулаагүй олон нийтийн үйлчилгээ (банкууд, дэлгүүрүүд, засгийн газрын байгууллагууд), аялал жуулчлал, олон улсын харилцаанд ашиглах боломжтой юм [13, 14].

Хүснэгт 3. 35 үсэгний өгөгдөл

Үсэг	А	Е	И	Й	Н	О	Р	У	Ш
Эрхий	>3000	<3000	<3100	<3100	>2800	>2800	>2800	>2800	<3100
Долоовор эхнээх	<2400	<2500	<2400	<2400	>2800	<2450	>2800	>2600	>2800
Долоовор сүүлийнх	<2400	<2800	<2800	<2800	>2800	<2600	>2800	>2600	>2800
Дунд эхнийх	<2300	<2500	<2400	<2400	>2800	>2900	<2400	<2500	>2600
Дунд сүүлийнх	<2400	<2700	<2900	<2900	>2800	>2900	<2700	<2600	>2600
Ядам эхнийх	<2400	<2500	>3000	>3000	<2500	>2500	>2800	<2600	>2800
Ядам сүүлийнх	<2600	<2600	>3000	>3000	<3050	>2900	>2900	<2800	>2900
Чигчий эхнийх	<2300	<2500	>3000	>3000	>2800	>2900	>2900	<2900	<2600
Чигчий сүүлийнх	<2300	<3000	>3000	>3000	>2800	>2900	>2900	<2900	<3000
Нийлэх	-	-	-		-	-	-	-	-
Тэнхлэг	-	-	<0	>0	-	-	-	-	<0

Үсэг	Ы	Ю	Ж	Ч	Б	С	Я	У	Д
Эрхий	<3000	<3100	>3000	>2900	<3000	>2900	<3050	<2800	>3000
Долоовор эхнээх	>2800	<2400	>2950	<2800	>3000	<2500	>2900	>2900	>2900
Долоовор сүүлийнх	>2800	<2600	<2700	<2700	>3000	>2900	<2900	>3000	>3000
Дунд эхнийх	<2600	<2400	>3000	>3000	>3000	<2500	<2800	>3000	>3000
Дунд сүүлийнх	<2700	<2600	<2600	<2600	<2600	>2800	>3000	>3000	>3000
Ядам эхнийх	<2600	<2500	>2800	<2600	<2600	<2500	>3000	<2600	<2600
Ядам сүүлийнх	<3100	<3100	<3000	<2900	<2900	>2800	<2600	<3100	<3100
Чигчий эхнийх	>2900	>2900	>2900	<2500	<2500	<2500	<3100	<2600	<2600
Чигчий сүүлийнх	>2900	>2900	>2900	<2500	<2500	>2800	<2500	<3000	<3000
Нийлэх	-	-	-	-	-	-	<2500	<2500	<2500
Тэнхлэг	-	-	-	-	-	-	<0	<0	<0

Дохионы хэлэнд үсэг бүр өөр өөр хурууны хөдөлгөөн мөн гараа дээшээ доошоо хөдөлгөдөг тул мэдрэгчинд ирэх аналог мэдээлэл нь үсэг бүрд өөр байна. Үүнийг дээрх хүснэгтэнд үе бүр дээр суулгасан мэдрэгчийн тоон өгөгдлийг харуулав

VI. ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд ESP32, Hall Sensor, MPU6050 мэдрэгчүүдийг ашиглан дохионы

хэлийг таних, хадгалах, текст болгон хөрвүүлэх автоматжуулсан хөрвүүлэгчийн биет загварыг угсран туршилт хийлээ. Судалгааны явцад Flex Sensor, Vision-based камерын систем, MPU6050, Hall Sensor зэрэг мэдрэгчүүдийг харьцуулж нарийвчлал, өртөг, хэрэглээний хялбар байдал, тогтвортой ажиллагаа зэрэг үзүүлэлтээр Hall Sensor-ийг сонгон ашигласан. Техникийн шийдлийн хувьд уг төхөөрөмж нь хуруу тус бүрийн хөдөлгөөнийг Hall Sensor**,** гарын бүхэл хөдөлгөөнийг MPU6050**,** өгөгдөл боловсруулах, хадгалах, дамжуулах үүргийг ESP32 микроконтроллер гүйцэтгэх байдлаар ажилладаг. Bluetooth-ээр холбогдож, гар утсанд таньсан үгсийг илгээх бөгөөд хэрэглэгч товчлуур ашиглан шинэ үг нэмэх боломжтой. Эдийн засгийн хувьд Vision-based камерын системээс 3-5 дахин бага өртөгтэй, Flex Sensor суурьтай системээс илүү урт хугацаанд тогтвортой ажиллах, бага эрчим хүч зарцуулдаг, элэгдэлд орохгүй зэрэг давуу талуудтай. Судалгааны үр дүнд өргөн хэрэглээний үгийг таних, хадгалах, Bluetooth-ээр утсанд илгээх боломжтой автоматжуулсан хөрвүүлэгч бүтээж сонсголын бэрхшээлтэй иргэдийн харилцааг хөнгөвчлөх, нийгмийн оролцоог нэмэгдүүлэхэд чухал ач холбогдолтой шийдэл болсон юм. Цаашид уг төхөөрөмжийг улам хөгжүүлэхдээ машин сургалтын алгоритм ашиглан олон үгийг таних, бодит цагийн дуу хоолой болгон хөрвүүлэх боломжийг судлах нь зүйтэй. Энэ судалгааны ажил нь технологийг ашиглан хүртээмжтэй харилцааг бий болгох, хөгжлийн бэрхшээлтэй иргэдийн нийгмийн оролцоог нэмэгдүүлэхэд бодит хувь нэмэр оруулах боломжтой юм [15].

НОМ ЗҮЙ

[1] World Health Organization (2022) – Сонсголын бэрхшээлтэй хүмүүсийн дэлхийн статистик, асуудлууд

[2] Монгол Улсын Сонсголын Бэрхшээлтэй Иргэдийн Холбоо (2021) – Монгол дахь нөхцөл байдал, хүртээмжийн асуудал

[3] American Speech-Language-Hearing Association (2021) – Харилцааны саад, дохионы хэлний хэрэглээ

[4] Chen F., Wang Y., & Liu X. (2020) – Sign Language Recognition System Based on Machine Learning and Sensor Technology

[5] Лхагвасүрэн Д., Жаргалсайхан С. (2018). *Хүний Анатоми* (2-р хэвлэл). Улаанбаатар: Монсудар.

[6] Popovic, R. S. (2004). *Hall Effect Devices: Magnetic Sensors and Characterization.* Taylor & Francis

[7] Монгол Улсын Их Сургууль, Электроникийн тэнхим. (2015). *Микроконтроллер ба мэдрэгчүүдийн хэрэглээ.* Улаанбаатар: МУИС.

[8] Hazman M. A. W., Nordin, I. N. A. M., Noh F. H. M. Khamis, N., Razif, M. R. M., Faudzi, A. A., & Hanif, A. S. M. (2020). IMU sensor-based data glove for finger joint measurement. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 20(1), 82–88.

[9] Kim B., & Choi D. (2022) – Digital Signal Processing and Machine Learning Algorithms

[10] Maqbool, H. F., Husman, M. A. B., Awad, M. I., & Iqbal, K. (2016). Wearable technologies for hand joints monitoring for rehabilitation: A survey. Microelectronics Journal, 59, 20–33.

[11] Xu, W., & Yu, C. (2019) – Smart Glove with Wireless Connectivity for Motion Recognition

[12] Brown, T., & Smith, R. (2020) – AI, Machine Learning Applications, and Accessibility Technologies

[13] Miller, J. A. (2018) – Human-Computer Interaction (HCI) and Accessibility Research

[14] Jones, L., & Patel, R. (2020) – IoT and Smart Device Accessibility Technologies

[15] Gonzalez, M., & Rivera, L. (2023) – Future Directions of Sign Language Translation in Smart Devices

ЭРҮҮЛ МЭНДИЙН ТЕХНИКИЙН САЛБАР ДАХЬ ХИЙМЭЛ ОЮУН УХААНЫ ХЭРЭГЛЭЭ

Ц.Баясгалан[1*], Д.Пүрэвдаш[2*]
Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Цахилгаан техникийн салбар
**Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: tsbaysgalan882@gmaol.com[1*], dashaa@must.edu.mn[2*]*

***Хураангуй*: Хиймэл оюун ухаан (ХОУ) нь эрүүл мэндийн салбарт ялангуяа дүрслэл оношилгоонд хувьсгал хийж байна. Рентген зураг, компьютер томографи (CT), соронзон резонансын дүрслэл (MRI) зэрэгт ХОУ-ыг ашигласнаар өвчний хурдан, нарийвчлалтай оношийг тогтоох боломжтой болсноор зөвхөн эмч нарын ажлын ачааллыг бууруулах төдийгүй оношилгооны чанарыг эрс сайжруулж, өвчнийг эрт илрүүлэх үр дүнтэй арга замыг нээж байна. ХОУ нь дүрслэлийн мэдээлэл боловсруулах, эмнэлгийн өгөгдөлд суурилсан нарийвчилсан шинжилгээ хийх, эмчилгээний хандлагыг сайжруулахад онцгой үүрэг гүйцэтгэж буйг олон судалгаа харуулж байна.**
Түлхүүр үг: Дүрслэл оношилгоо, эрүүл мэндийн технологи, оношилгоо нарийвчлал, өгөгдлийн анализ

I. УДИРТГАЛ

Эрүүл мэндийн техникийн салбарт хиймэл оюун ухааныг үр дүнтэй ашиглах боломжийг судалж, тус технологиор дамжуулан оношилгоо, эмчилгээ, үйлчилгээний чанарыг сайжруулах мөн давуу тал болон монгол улс болон дэлхийн хэмжээнд ямар байгаа талаар судлах.

Хиймэл оюун ухаан буюу AI нь хүний сэтгэхүйтэй төстэй, компьютерын программ хангамжаар бүтээгдсэн технологийн төрөл юм.

Энэхүү өгүүлэлд хиймэл оюун ухааны (ХОУ) эрүүл мэндийн салбарт оруулж буй хувь нэмрийн талаар авч үзсэн. ХОУ нь оношилгоо, эмчилгээний үр дүнг сайжруулж, өвчний урьдчилан сэргийлэлтийн түвшнийг нэмэгдүүлэх, эм зүйн судалгааны хугацааг хурдасгах боломжийг олгож байна. Эрүүл мэндийн салбар нь хүний амь насыг аврах, эрүүл мэндийг хамгаалах, өвчин эмгэгийг эмчлэх чухал үүрэг гүйцэтгэдэг. ХОУ нь сүүлийн жилүүдэд эрүүл мэндийн салбар нь эрчимтэй хөгжиж, шинэ технологиудыг нэвтрүүлэх, эмчилгээний арга барилд хувьсгал хийснээр эрүүл мэндийн системийг илүү үр ашигтай, хурдан, аюулгүй болгож, өвчнийг илрүүлэх, оношлох, эмчлэх үйл явцыг оновчтой болгоход дэмжлэг үзүүлж байна [1].

1. Хиймэл оюун ухааны түүх

1943 он – Уоррен Маккаллок, Уолтер Питтс нар анхны хиймэл нейрон загварыг боловсруулсан.

1950 он – Алан Тюринг "Тюрингийн тест" хэмээх ойлголтыг дэвшүүлж, машин хүний адил сэтгэж чадах эсэхийг шалгах аргыг танилцуулсан.

1956 он – Dartmouth Conference хуралдаан нь ХОУ-ны албан ёсны эхлэл болж, Жон Маккарти "Artificial Intelligence" (хиймэл оюун ухаан) гэсэн нэр томьёог бий болгосон [2].

2. *Хөгжлийн үе шат*

1950–1970 он: Анхны туршилтууд

Энэ үед логик суурьтай программчлалын аргачлалууд хөгжиж, анхны ХОУ загварууд бий болсон.

ELIZA (1966) – Жеффри Вейзенбаумын боловсруулсан сэтгэлзүйн зөвлөгч программ.

Шатрын программ – Анхны оюунлаг тоглоомын програмчлал хийгдсэн.

1970–1990 он: ХОУ-ны хямрал ба мэргэжилтний системүүд

1970-аад онд санхүүжилт багассанаас ХОУ-ны хөгжил саарсан.

1980-аад оноос мэргэжилтний системүүд (Expert Systems) хөгжиж, бизнесийн салбарт өргөн хэрэглэгдэх болов.

1990–2010 он: Машин сургалт ба их өгөгдөл

1997 он – IBM-ийн Deep Blue шатрын компьютер дэлхийн аварга Гарри Каспаровыг ялсан.

2000-аад он – Машин сургалтын аргууд (нейрон сүлжээ, статистик загвар) эрчимтэй хөгжиж эхэлсэн.

2010 оноос хойш: Гүн сургалт ба ХОУ-ны тэсрэлт

2012 он – AlexNet гүн сургалтын загвар нь дүрс таних тэмцээнд ялалт байгуулсан.

2016 он – AlphaGo хиймэл оюун ухаан Go тоглоомын дэлхийн аваргыг ялсан.

2020 оноос хойш – Хэлний загварууд (GPT-4, Gemini, Claude гэх мэт), дүрс, дуу таних технологиуд асар хурдацтай хөгжиж, ХОУ нь олон салбарт нэвтэрч байна [3].

3. *Орчин үеийн чиг хандлага*

Хэлний загварууд – Байгалийн хэлний боловсруулалт (NLP) хөгжиж, AI chatbot, автомат орчуулга сайжирч байна.

Эрүүл мэнд – Хавдар илрүүлэх, оношилгоонд AI ашиглагдаж эхэлсэн.

Автоматжуулалт – Өөрөө жолооддог машин, робот техник хөгжиж байна. Анагаах ухаанд Америкийн Intuitive Surgical компанийн хийсэн мэс заслын системийн өгсөн нөлөөг үнэлж Да Винчи гэж нэрлэсэн. Үүнийг 2000 онд Хүнс, Эмийн Захиргаа (FDA) зөвшөөрсөн бөгөөд дэлхий даяар үйл ажиллагаа явуулж буй нэгжийн тоо өдгөө 5000 гаруй болжээ. Да Винчи мэс заслын систем нь хамгийн бага инвазив аргыг ашиглан нарийн төвөгтэй мэс заслыг хөнгөвчлөх бөгөөд мэс засалч консолоор удирдаж болно. Уг системийг хагалгаа болон

эмэгтэйчүүдийн мэс заслын үйл ажиллагаанд ихэвчлэн ашигладаг.

II. ХИЙМЭЛ ОЮУН УХААН БА ДҮРСЛЭЛ ОНОШИЛГОО

Дүрслэл оношилгоо нь эмнэлгийн салбарт хамгийн чухал бөгөөд өргөн хэрэглэгддэг арга хэрэгслүүдийн нэг юм. Дүрслэл оношилгоо нь эмч нарын өвчний оношлох, эмчилгээний төлөвлөгөө гаргах, мэс засал болон бусад эмнэлгийн үйл явцад туслах гол хэрэгсэл болдог. Эдгээр дүрсүүд нь хүний биед гарсан өөрчлөлт, өвчин эмгэгийг зөв таних, тодорхойлох боломжийг олгодог [4].

Рентген зураг, компьютерын томографи (CT), магнитаар резонансын дүрслэл (MRI), ультрадуун гэх мэт технологиудыг ашиглан өвчний байдал, цаашдын эмчилгээний арга зүйг үнэлэх боломжтой болдог. Гэхдээ эдгээр технологиудын хөгжил нь зөвхөн зургийн чанарыг сайжруулах төдий биш, хүний оролцоог багасгаж, илүү нарийвчлалтай, хурдтай оношилгоо хийх боломжийг нээж өгч байна. Хиймэл оюун ухаан (ХОУ) нь дүрслэл оношилгооны салбарт хүчирхэг хэрэгсэл болж хувирсан бөгөөд энэ нь өвчний оношилгоог илүү өндөр нарийвчлалтай, хурдан хийж, хүний алдаанаас сэргийлж, эрсдэлийг бууруулах боломжийг олгодог. Хиймэл оюун ухаан нь зургийн мэдээллийг боловсруулах, өвчний оновчтой онош тавих, нарийн төвөгтэй тооцооллыг хийх зэрэг олон талын үүргийг гүйцэтгэж байна [5].

Энэхүү эрдэм шинжилгээний өгүүлэлд эрүүл мэндийн салбарт хиймэл оюун ухаан хэрхэн дүрслэл оношилгоонд ашиглагдаж буйг авч үзэх бөгөөд түүний онцлог, ашиг тус, сорилт болон ирээдүйн хөгжлийн чиг хандлагыг судлах болно.

Дүрслэл оношилгоо нь өвчний оношилгоонд дүрс болон зураг ашиглан эмнэлгийн нөхцөлд чухал үүрэг гүйцэтгэдэг. Хиймэл оюун ухаан нь зургийн мэдээллийг хурдацтай боловсруулж, тодорхой өвчнийг оношлох, эмчилгээний урьдчилсан төлөвлөлт хийх, мэс засал, радиологийн шинжилгээнд зөвлөмж өгөхөд үр дүнтэй хэрэгсэл болжээ. Өнөөдрийн байдлаар хиймэл оюун ухаан нь дараах дүрслэл оношилгооны салбаруудад өндөр үр дүнтэй ашиглагдаж байна.

1. *Рентген болон компьютерт томографи* Хиймэл оюун ухаан нь рентген зураг болон CT дүрслэлийг шинжлэхэд ашиглагдаж байна. Одоогийн ХОУ нь зургуудыг хянах, үр дүнг дүгнэх, цаашлаад онош тавих асуудлыг бодит цаг хугацаанд шийдвэрлэх боломжийг олгодог. Шинээр үүссэн алгоритмууд нь оношилгоог илүү нарийвчилсан, хурдан хийхэд тусалдаг.

1-р зураг. Компьютер томографи

2. *Соронзон резонанст томографи (MRI)* MRI (Magnetic Resonance Imaging) ба AI (Artificial Intelligence) нь анагаах ухааны дүрслэлд хүчирхэг хослол болж, оношилгооны нарийвчлалыг сайжруулж, эмч нарын ажлыг хөнгөвчилж байна. AI нь MRI зургуудыг боловсруулж, онош гаргах, өвчний явцыг хянах, хавдар болон бусад эмгэгүүдийг илрүүлэхэд ашиглагддаг [6].

2-р зураг. Соронзон резонанст томографи

Соронзон резонанст томографи ба хиймэл оюун ухааны хосолсон давуу талууд:

1. Хурдан бөгөөд нарийвчлалтай оношилгоо- AI алгоритмууд MRI дүрслэлийг шинжилж, эмчийн анзаараагүй жижиг өөрчлөлтийг илрүүлнэ.

2. Автомат ангилалт ба оношлогоо- Хавдар, мэдрэлийн эмгэгүүд (Альцгеймер, Паркинсон, тархины цус харвалт гэх мэт)-ийг ангилах, оношлох чадвартай.

3. Зургийн чанарыг сайжруулах- AI нь бага чанарын MRI зургийг тодруулж, илүү өндөр нарийвчлалтай болгож, эмчийн оношлох боломжийг нэмэгдүүлнэ.

4. Хавдрын илрүүлэлт, оношилгоо- AI нь MRI зургууд дээр суурилж хавдрын хэмжээг тодорхойлох, тархалтыг үнэлэх, хөгжлийн үе шатыг тодорхойлоход тусална.

III. ЭРҮҮЛ МЭНДИЙН ТЕХНИКИЙН САЛБАР ДАХЬ ХИЙМЭЛ ОЮУН УХААН

Рентген шинжилгээгээр уушгинд үүссэн зангилааны шинж чанараас хамааран 0.6 см-аас жижиг хэмжээний зангилаа тодорхой харагдах боломжгүй байдаг. Үүнээс үүдэн уушгины хавдрын 90 гаруй хувийг хожуу шатанд оношилдог. Харин хиймэл оюун ухаан энэ төрлийн жижиг зангилааг олж тогтоохдоо маш гарамгай байдаг. Ийм ч учраас

Монголд 2021 оноос эхлэн Chest AI төслийг Интермед эмнэлэг, EClinic эрүүл мэндийн платформ, ICT төв, Улсын Нэгдүгээр Төв Эмнэлэг, Монголын радиологийн нийгэмлэг гэсэн байгууллагууд хамтран цээжний рентген дээр үндэслэн зургаан төрлийн уушгины өөрчлөлтийг илрүүлэн мэдээлдэг системийг хөгжүүлж эхэлсэн юм. Үүнээс хойш Монголын улсын эрүүл мэндийн салбарт хиймэл оюун ухаанд суурилсан технологиуд эрчимтэй нэвтэрч Нура, Анд медикал центр зэрэг эмнэлгүүд оношилгооны төхөөрөмжүүдээ хиймэл оюун ухаанд суурилсан төхөөрөмжүүдийг ашигладаг. Эрүүл мэндийн салбарт хиймэл оюун ухаан (ХОУ) нь өвчнийг эрт илрүүлэх, оношилгооны нарийвчлалыг сайжруулах, эмчилгээний үр дүнг дээшлүүлэх зэрэг олон талын ач холбогдолтой. Монгол Улсад ХОУ-ыг эрүүл мэндийн салбарт нэвтрүүлэх чиглэлээр хэд хэдэн судалгаа, үйл ажиллагаа хийгдэж байна.

- *"Интермед" эмнэлэгт ХОУ-ын нэвтрүүлэлт:* 2021 онд "Интермед" эмнэлэг Израилийн "Зебра" компанитай хамтран ХОУ-д суурилсан дөрвөн төрлийн аппликейшнийг туршиж эхэлсэн. Эдгээр нь уушгины гялтангийн хөндийд шингэн хуримтлал, цээжний хөндийд хий хурах, нурууны нугалмын дарагдлын хугарал, тархины цус харвалтыг илрүүлэхэд чиглэгдсэн байна. Эдгээр системүүд нь эмчийн оношилгооны үйл явцыг хурдасгаж, нарийвчлалыг нэмэгдүүлэхэд тусалж байна.
- *"НУРА" эрт илрүүлгийн төвийн ХОУ-ын технологи:* "НУРА" төв нь ХОУ-д суурилсан технологийг ашиглан шинжилгээний үйл явцыг илүү аюулгүй, үнэн зөв болгож, өвчтөн болон эмчид үр дүнг боловсронгуй болгож өгдөг.

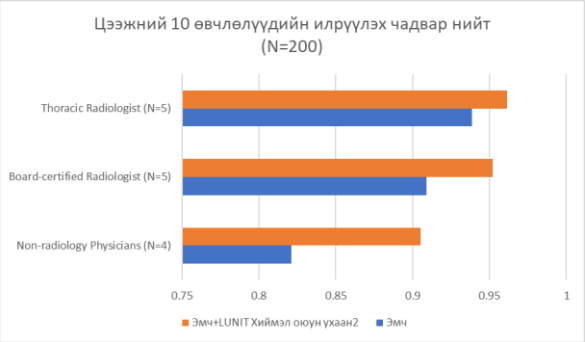
Дэлхийн эрүүл мэндийн салбарт хиймэл оюун ухаан (AI)-ыг дараах чиглэлүүдэд өргөн ашиглаж байна.

1. *Дүрс оношилгоо*

Рентген, MRI, CT зэрэг дүрс оношилгооны технологид AI-ийг ашигласнаар нүдний өвчин, хорт хавдар, зүрхний эмгэгийг эрт үед нь илрүүлэх боломжтой болж байна.

- IBM Watson Health – Хавдрын оношилгоонд AI ашиглан эмч нарт оношилгооны зөвлөгөө өгч, эмчилгээний шийдвэр гаргахад дэмжлэг үзүүлдэг.
- Qure.AI – Хиймэл оюун ухааны тусламжтайгаар сүрьеэ, уушгины хатгалгаа зэрэг өвчнийг оношлох, дүгнэлт гаргах процессыг хялбаршуулдаг [7].
- Мэс Засал ба Робот Технологи (AI in Surgery)

Da Vinci Surgical System – Нарийн мэс ажилбаруудыг AI-ийн удирдлагатай роботын тусламжтайгаар гүйцэтгэж, мэс заслын нарийвчлалыг нэмэгдүүлдэг [8]



3-р зураг. Цээжний 10 өвчлөлүүдийг илрүүлэх чадвар ХОУ-ын эрүүл мэндийн салбарт ашиглахад тулгарч буй сорилтууд

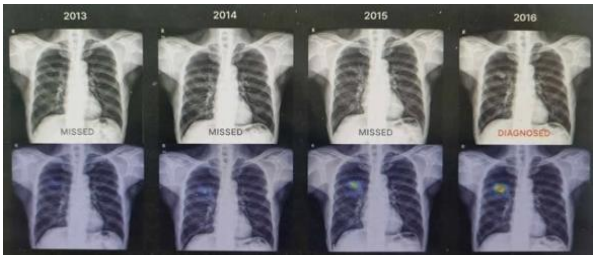
Хиймэл оюун ухаан (ХОУ)-ыг эрүүл мэндийн салбарт ашиглахад дараах сорилтууд тулгарч байна:

- *Өгөгдлийн чанар, стандартгүй байдал* – Эмнэлгийн мэдээлэл ихэвчлэн эмх замбараагүй, алдаатай, нэгдсэн стандартгүй байдаг нь AI-ийн үр дүнг бууруулах эрсдэлтэй.
- *Нууцлал, аюулгүй байдал* – Өвчтөний мэдээллийг хамгаалах өндөр шаардлага тавигддаг (HIPAA, GDPR гэх мэт), энэ нь өгөгдөл хуваалцах, ашиглахад хүндрэл учруулдаг.
- *Өгөгдлийн хязгаарлагдмал байдал* – Зарим эмнэлэг, байгууллагууд мэдээллээ хуваалцахгүй байх хандлагатай тул AI загваруудыг сургалт, хөгжүүлэлтэд ашиглахад хүндрэлтэй.
- ХОУ хөгжүүлэх өндөр зардал – AI системийг боловсруулах, эмнэлгийн дэд бүтэцтэй уялдуулахад ихээхэн хөрөнгө шаардаг [9].

Хиймэл оюун ухаан дээр суурилсан төхөөрөмжүүдийн онцлог давуу тал:

1.Оношилгоог илүү найдвартай болгоно: Хиймэл оюун ухаан нь өөрийн BIG дата бааз дахь (хэдэн 10 мянгаас хэдэн сая) олон мянган зургийг маш богино хугацаанд боловсруулан хэвийн зураглалтай харьцуулан анализ хийж хэвийн бус, өвчлөлтэй байх магадлал бүхий хэсгийг тодруулан, өнгөөр ялгах, дохиолол өгөх гэх мэтээр эмчид мэдээлснээр хүнээс хамааралтай оношилгооны алдаа гарах магадлалыг бууруулна [10].

2. Компьютер томографи, Рентген гэх мэт цацрагийн туяа ашигладаг төхөөрөмжүүдэд илүү эрүүл мэндэд ээлтэй сонголтыг бий болгодог. Хэт бага рентген туяа ашиглан шинжилгээ хийснээр зургийн чанар муудах, өөрчлөлтийг илрүүлэхэд сөргөөр нөлөөлдөг. Өндөр тунтай рентген туяа ашигласнаар зургийн чанар сайжруулах хэдий ч хүний эрүүл мэндэд сөрөг нөлөө үзүүлэх боломжтой. Харин хиймэл оюун ухаан ашигласан төхөөрөмжүүд нь рентген туяаг бага ашигласан ч зургийн чанар сайжруулах системтэй тул оношилгоог илүү найдвартай, үйлчлүүлэгчид ээлтэй нөхцөлөөр шинжилгээ хийх боломжийг бүрдүүлдэг.



4-р зураг. Lunit хиймэл оюун ухаанаар оношилсон 59 настай хүний уушгины зураг

Зурагт 4 нь: 2013, 2014 онд хавдар оношлогдоогүй. 2015 онд давтан үзлэгээр хавдар оношлогдоогүй. 2016 онд хавдар оношлогдсон.

Хэрэв 2013 онд LUNIT хиймэл оюун ухаан ашигласан бол 16%-ийн магадлалтай уушгины хавдрыг эрт үед нь оношлох боломжтой байсан. 2017 онд LUNIT -ийг ашиглаж 90%-тай оношилсон. ХОУ-аар эрт илрүүлсэн 1-2 шатны хавдар 73% эмчлэгдэх магадлалтай. Харин ХОУ ашиглаагүй 3-4 шатанд илэрсэн хавдар 18% эмчлэгдэх магадлалтай байдаг.

Эрүүл мэндийн салбарт тулгарч буй нэг томоохон асуудал нь хүн амын дунд үүсч буй эмнэлгийн өгөгдөл жигд бус байдаг явдал юм. Нийгмийн гарал үүсэл, санхүүгийн боломжийн ялгаатай байдлаас шалтгаалан эрүүл мэндийн үйлчилгээний хүртээмж, чанар харилцан адилгүй байна. Хэрэв энэ тэгш бус байдал хиймэл оюун ухааны сургалт, хөгжүүлэлтэд тусгагдвал AI-ийн оношилгоо, эмчилгээний шийдлүүд зөвхөн тодорхой бүлэг хүмүүст илүү тохиромжтой болж, эрүүл мэндийн тэгш бус байдлыг улам дордуулж болзошгүй юм [11].

Илүү ухаалаг оношилгоо ба урьдчилан сэргийлэх эмчилгээ

AI суурилсан оношилгооны системүүд хөгжиж, эмчээс илүү нарийвчлалтай болох боломжтой.

- AI нь рентген, MRI, CT, цусны шинжилгээний датаг шинжлэн, өвчнийг эрт шатанд илрүүлэх чадвартай болно.
- Genomics AI – AI нь генийн анализ хийж, тухайн хүний өвчлөх магадлалыг урьдчилан тооцоолж өвчнөөс сэргийлэх арга хэмжээ санал болгоно.
- AI дээр суурилсан виртуал эмч нар (AI Doctors) Өвчтөний шинж тэмдгийг үндэслэн онош тавьж, эмчилгээг санал болгох чадвартай болно.

2. AI ба робот мэс засал (AI in Surgery)

- Робот мэс заслын төхөөрөмжүүд бие даан ажиллах боломжтой болно.
- AI-хяналттай робот гарууд хүний үйлдлийг сайжруулж, эмнэлзүйн алдааг багасгана.
- Мэс заслын үед AI нь бодит цагийн өгөгдөлд дүн шинжилгээ хийж, эмчид шийдвэр гаргахад туслах болно [12].

3. *Хиймэл оюун ухааанд суурилсан эмнэлгийн үйлчилгээ (AI in Healthcare Services)*

- AI эмчийн туслах ба виртуал эрүүл мэндийн зөвлөгөө түгээмэл болно.
- AI нь өвчтөний өгөгдлийг хянаж, эмчийн зөвлөгөөг автоматжуулах болно.
- AI чатботууд өвчтөнүүдтэй харилцаж, эмчилгээний анхан шатны зөвлөгөө өгөх боломжтой болно [13].

Цахим эрүүл мэнд (Telemedicine AI) улам бүр өргөжин, хөдөө орон нутаг, хөгжиж буй орнуудад хүртээмжтэй болно.

Эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн инженерүүд хиймэл оюун ухааныг хөгжүүлэхийн тулд дараах ур чадвар, мэдлэгийг эзэмших нь чухал:

- AI алгоритмууд болон программчлалын мэдлэг
- Эмнэлгийн тоног төхөөрөмжтэй AI-г интеграц хийх чадвар
- Өгөгдөл боловсруулах, том хэмжээний дата удирдах чадвар
- AI-ийн аюулгүй байдал, стандартын мэдлэг Био-анагаахын судалгаа болон AI-ийн хэрэглээ

ДҮГНЭЛТ

Эрүүл мэндийн техникийн салбар дахь хиймэл оюун ухаан (AI) нь эрүүл мэндийн тусламж үйлчилгээний хүртээмжийг сайжруулахад хувьсгал авчирч байна. AI-д суурилсан системүүд нь мэдээлэл боловсруулах өндөр хурд, нарийвчлалтай загварчлалын давуу талууд нь эмч нарын шийдвэр гаргалтыг дэмжих, оношилгооны чанарыг нэмэгдүүлэх, эмчилгээний хувилбаруудыг оновчтой болгох боломжийг бүрдүүлж байна.

Сүүлийн үед AI-г ашигласнаар рентген зураг, MRI, CT сканнер зэрэг дүрслэл оношилгоонд өндөр нарийвчлалтайгаар ашиглагдаж, хорт хавдрын эрт илрүүлэлтийн үр дүнг сайжруулж байна. Гэсэн хэдий ч AI-ийг эрүүл мэндийн салбарт өргөн ашиглахын тулд өгөгдлийн нууцлал, ёс зүйн зохицуулалт, технологийн найдвартай байдал зэрэг олон асуудлыг шийдвэрлэх шаардлагатай.

Ирээдүйд AI-ийг эрүүл мэндийн техникийн салбарт бүрэн нэвтрүүлснээр оношилгооны хурд, үр дүнгийн найдвартай байдал нэмэгдэж, эмнэлгийн тусламж үйлчилгээ илүү хүртээмжтэй болох боломжтой. Иймд AI-д суурилсан технологийн хөгжлийг зөв удирдан, хүний эрүүл мэндийг хамгаалахад ухаалгаар ашиглах нь эрүүл мэндийн салбарын гол зорилтуудын нэг байх ёстой.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] Snowdon, A. Digital Health: A Framework for Healthcare Transformation. 2020.

[2] Williams, O.D. COVID-19 and Private Health: Market and Governance Failure. *Development* **2020**

[3] Tabriz, A.A.; Nouri, E.; Vu, H.T.; Nghiem, V.T.; Bettilyon, B.; Gholamhoseyni, P.; Kiapour, N. What should accountable care organizations learn from the failure of health maintenance organizations?

[4] Bajwa, J.; Munir, U.; Nori, A.; Williams, B. Artificial intelligence in healthcare: Transforming the practice of medicine. Future Healthcare 2017. Available

[5] Cohen WA, Giauque AP, Hallam DK, et al. Evidence-based approach to use of MR imaging in acute spinal trauma. Rand Review. Chronic Conditions in America: Price and Prevalence.

[6] Butcher, C.J.T.; Hussain, W. Digital Healthcare: The Future, RCP Journals. Royal College of Physicians. 2022.

[7] Kumar, A.; Gadag, S.; Nayak, U.Y. The Beginning of a New Era: Artificial Intelligence in Healthcare. *Adv. Pharm. Bull.* **2020**,

[8] Shaikh Abdul Hannan, "Artificial Intelligence and Blockchain Technology for secure data and privacy" Journal of Advance Research in Computer Science and Engineering, Vol 9, Issue 7, September 2023.

[9] Shakeel, T.; Habib, S.; Boulila, W.; Koubaa, A.; Javed, A.R.; Rizwan, M.; Gadekallu, T.R.; Sufiyan, M. impact in the healthcare domain:

[10] T.R. Metaverse for Healthcare: A Survey on Potential Applications, Challenges and Future Directions. *IEEE Access* **2023**

[11] Jussupow, E.; Spohrer, K.; Heinzl, A. Radiologists' Usage of Diagnostic AI Systems. Bus. Inf. Syst. Eng. 2022, 64, 293–309. [Google Scholar] [CrossRef]

[12] *Am. J. Roentgenol.* **2019**, *212*, 38–43. [**Google Scholar**] [**CrossRef**].

[13] Mundy, G.R. Metastasis to bone: Causes, consequences and therapeutic opportunities. Nat. Rev. Cancer 2002, 2, 584–593. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]

ЭМНЭЛГИЙН ТОНОГ ТӨХӨӨРӨМЖҮҮДИЙН ШАЛГАЛТ, ТОХИРУУЛГЫН АСУУДАЛ

Б.Нинжмаа[1], Д.Пүрэвдаш[2]
ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Цахилгаан техникийн салбар
**Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: ninjmaa1217@gmail.com[1], dashaa@must.edu.mn[2]*

***Хураангуй*: Эмнэлгийн тоног төхөөрөмж эрүүл мэндийн тусламж үйлчилгээнд чухал үүрэг гүйцэтгэдэг бөгөөд өвчтөнийг үнэн зөв оношлох, хянах,эмчлэхэд тусалдаг. Тоног төхөөрөмжийн нарийвчлал, найдвартай байдал нь өвчтөний эрүүл мэнд, аюулгүй байдалтай шууд хамаарал холбоотой байна.Шалгалт тохируулга гэдэг нь эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн техник үзүүлэлтэд хэмжилт хийж, олон улсын стандартын дагуу алдааны утгыг тогтоох үйл ажиллагааг хэлнэ. Тоног төхөөрөмжинд хийгдэж буй шалгалт,тохируулга нь төхөөрөмжийн үнэн зөв байдлыг мэдээлснээр буруу оношлох, цаг хугацааны алдагдал, эвдрэл гэмтэл зэргээс урьдчилан сэргийлнэ.**

Түлхүүр үг: ***Хууль, эрх зүй, анализатор, насжилт, хэмжилт***

I. УДИРТГАЛ

Эрүүл мэндийн байгууллагын тусламж, үйлчилгээнд ашиглагдаж байгаа тоног төхөөрөмж, багаж, хэмжих хэрэгслийг улсын баталгаажуулалт, шалгалт, тохируулгад бүрэн хамруулах нь оношилгоо, эмчилгээг сайжруулах, хүн амд үзүүлж байгаа эрүүл мэндийн тусламж, үйлчилгээний чанарын түвшнийг дээшлүүлэхэд нөлөөлөх гол хүчин зүйл болно.

Эрүүл мэндийн салбарт ашиглагдаж байгаа хэмжих хэрэгсэл, тоног төхөөрөмжийн найдвартай, хэвийн, үнэн зөв ажиллагааг хангах, тэдгээрийг тогтоосон хугацаанд нь хяналт шалгалтад бүрэн хамруулах тогтолцоог бий болгох үндсэн дээр эрүүл мэндийн салбарын тусламж, үйлчилгээний чанарыг сайжруулахад дэмжлэг үзүүлэхэд оршино.

“Эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн шалгалт тохируулгын үйл ажиллагаа” гэж эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн хэвийн, найдвартай үйл ажиллагааг тодорхойлох зорилгоор тусгай зориулалтын симулятор, анализаторын тусламжтайгаар тухайн тоног төхөөрөмжийн нийтлэг болон тусгай үзүүлэлт тус бүрийг олон улсын болон үндэсний стандартын дагуу хэмжилт хийж, шаардлагад нийцэж буй тоног төхөөрөмжид шалгалт тохируулгын үр дүнгийн хуудас олгох үйл ажиллагааг хэлнэ.

II. ОНОЛЫН ХЭСЭГ

Хууль эрх зүйн орчин

“Шалгалт тохируулга гэж хэмжих хэрэгслийн алдааны утгыг тогтоох ажиллагааг хэлнэ” гэж хэмжлийн нэгдмэл байдлыг хангах тухай хуульд заасан байдаг. Харин эрүүл мэндийн сайдын гаргасан журамд “Шалгалт тохируулга гэж эмнэлгийн тоног төхөөрөмжид олон улсын стандартын дагуу анализатор болон симуляторaар хэмжилт хийж алдааны утгыг тогтоох үйл ажиллагааг хэлнэ” гэж тус тус заасан байдаг.

Монгол Улсын Шадар сайдын 2015 оны 117 дугаар “Хэмжил зүйн, ажил үйлчилгээний төлбөрийн хэмжээг шинэчлэн батлах” тухай хуульд зааснаар:

8.1.Дараах үйл ажиллагаанд хэрэглэх хэмжил, хэмжих хэрэгсэл, хэмжил гүйцэтгэх аргачлалыг хэмжил зүйн хяналт шалгалтад хамруулна:

21.1.Хэмжил зүйн мэргэжлийн байгууллага энэ хуулийн 22 дугаар зүйлд зааснаас гадна дараах чиг үүргийг хэрэгжүүлж болно:

21.1.1.энэ хуулийн 8.1.1-8.1.4-т заасан үйл ажиллагаанд хэрэглэх, холбогдох салбарын хүрээний хэмжих хэрэгслийн загварын туршилт, шалгалт баталгаажуулалтыг холбогдох хууль тогтоомжийн дагуу гүйцэтгэх;

21.1.2.тухайн хэмжлийн төрлөөр улсын болон ажлын эталоныг бий болгох, стандартчилсан загвар зохион бүтээх, хадгалах, нэгж дамжуулалтыг хангах

Эрүүл мэндийн сайдын тушаал

1. Эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн чанарын хяналт, сургалт, бүртгэл мэдээллийн алба байгуулах тухай *2014 оны 357 дугаар тушаал*

2. Эмнэлгийн тоног төхөөрөмжид шалгалт тохируулга хийх журам *2015 оны 249 дүгээр тушаалын нэгдүгээр хавсралт*

3. Эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн хэвийн ажиллагааг хангах, засвар үйлчилгээ хийх журам 2018 оны А/344 дүгээр тушаалын нэгдүгээр хавсралт

4. Эмнэлгийн тоног төхөөрөмжид шалгалт тохируулга хийх арга, аргачлал батлах тухай - *2018 оны А/345 дугаар тушаал*

5. Эмнэлгийн тоног төхөөрөмжид шалгалт тохируулга хийх арга, аргачлал батлах тухай - *2021оны А/464 дүгээр тушаал* [1].

Тоног төхөөрөмжинд шалгалт,тохируулга хийх дараалал

1-р зураг. Шалгалт тохируулга хийх дараалал

Эм, эмнэлгийн хэрэгслийн хяналт, зохицуулалтын газарт 2020-2024 онд нийт 826 байгууллага тоног төхөөрөмжийн шалгалт тохируулгад хамрагдах хүсэлт ирүүлсэн байна. Энэ хугацаанд 765 эрүүл мэндийн байгууллага 1 *удаа*, 55 эрүүл мэндийн байгууллага 2 удаа, 5 эрүүл мэндийн байгууллага 3 удаа, 1 эрүүл мэндийн байгууллага 5 удаа тус тус шалгалт тохируулгад хамрагдсан байна [2].

Шалгалт тохируулгад хамрагдах хугацааны давтамж

Монгол Улсын Шадар сайдын 2015 оны 117 дугаар "Хэмжил зүйн, ажил үйлчилгээний төлбөрийн хэмжээг шинэчлэн батлах" тухай тушаал, Эрүүл мэндийн сайдын 2015 оны 249 дүгээр тушаалаар батлагдсан "Эмнэлгийн тоног төхөөрөмжид шалгалт тохируулга хийх тухай" журмын дагуу дараах эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийг жилд 1-2 удаа шалгалт тохируулгад хамруулна [3].

ШАЛГАЛТ ТОХИРУУЛГАД ХАМРАГДАХ ЭМНЭЛГИЙН ТОНОГ ТӨХӨӨРӨМЖҮҮД

ХҮСНЭГТ 2.

№	Шалгалт тохируулга хийх эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн нэр	Шалгалт тохируулгад хамрагдах хоорондын хугацаа /жил/
1	Амьсгалын аппарат	0.5
2	Дефибриллятор	0.5
3	Дуслын автомат шахуурга	1
4	Зүрхний цахилгаан бичлэгийн аппарат	1
5	Наркозын аппарат	0.5
6	Нярайн дулаацуулах ширээ	0.5
7	Нярайн инкубатор	1
8	Өвчтөний хяналтын монитор	1
9	Рентген аппарат / Компьютерт томографийн аппарат	1
10	Тариурын автомат шахуурга	1
11	Хүчилтөрөгч өгөгүүлэгч	1
12	Хэт авиан оношилгооны аппарат	1
13	Цахилгаан аюулгүй байдлын хэмжилт	1
14	Цахилгаан мэс заслын аппарат	0.5

Олон улсад хийгддэг шалгалт тохируулга: Олон улсад аливаа хэмжүүр бүхий тоног төхөөрөмжийг нэгдсэн стандарт, арга аргачлалаар шалгаж тохируулга хийх, хэмжилзүйн техник үзүүлэлтийг баталгаажуулж, найдвартай ажиллагааг хангах нэгдсэн бодлогоор зохицуулж байдаг. Энэхүү зохицуулах системд улс бүр нэгдсэн бодлогоор олон улсын байгууллага болон олон улсын стандартын байгууллагаас дээрх зохицуулалтын чиг, үүргийг хангаж байдаг. Энэхүү эрх зүйн үндэс зохицуулалт нь эмнэлгийн хэмжих хэрэгсэл тоног төхөөрөмжид чанар стандарт улсын баталгаажуулалт мөрдөгддөггүйгээс оношилгоо шинжилгээний хариу эмнэлэг бүрт зөрүүтэй байх, эмчилгээний үр дүн хангалттай түвшинд хүрэхгүй байх зэрэг доголдлууд нь дахин давтан оношилгоо, шинжилгээ хийлгэх, илүү сайн эмнэлгийн тусламж хайж гадаадад эмчилгээ оношилгоонд явах зэрэг олон төрлийн хүндрэл, бэрхшээлээс хамгаална.

"Эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн шалгалт тохируулгад хамрагдах хоорондын хугацаа"-г тодорхойлохдоо эрсдэлд суурилсан үнэлэх аргачлалыг олон улсад түгээмэл хэрэглэгддэг, Америкийн нэгдсэн улсын Вермонтийн их сургуулиас хэвлэж гаргасан "Эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн баталгаажуулалт" эмхэтгэлийг үндэслэнэ [4].

Шалгалт тохируулгад ашиглаж байгаа анализатор, симулятор

Шалгалт тохиргоо хийх гэдэг нь ямар нэгэн багаж, төхөөрөмжийн ажиллагааг шалгаж стандартад нийцэж байгаа эсэхийг хянах улмаар тохируулах үйл явц юм. Шалгалт тохиргоо хийх нь маш чухал бөгөөд эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн зөв ажиллаж буйг нотлох гол зүйл юм. Шалгалт хяналт хийснээр эмнэлгийн тоног төхөөрөмж буруу ажиллаж байгаа тохиолдолд тохиргоо хийх шаардлагатай болдог ба тухайн төхөөрөмжийн төрлөөс хамааран тохиргоо хийх олон арга байдаг.

Эрүүл мэндийн яамнаас 2017 онд Монгол улсын Шадар сайдын 2015 оны 117 болон 249 дугаар тушаалын дагуу 21 аймгийн эрүүл мэндийн байгууллагуудын эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн ашиглалт, үйл ажиллагаанд үнэлгээ хийсэн ажлаар аймгийн нэгдсэн эмнэлэг болон бүсийн оношилгоо, эмчилгээний төвд ашиглагдаж байгаа шалгалт тохируулгад хамрагдах шаардлагатай тоног төхөөрөмжүүдэд шалгалт тохируулга хийсэн [5].

Эрүүл мэндийн хөгжлийн Мэдээллийн технологи, эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн албанд эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн шалгалт тохируулга хийх нийт 11 анализатор, симулятор байдаг бөгөөд 2016 оны хувьд Герман улсад чанарын баталгаажилт хийгдсэн 4 нэр төрлийн (ANSUR Automated Prosim8 маркийн Өвчтөний хяналтын монитор шалгах симулятор, ANSUR Auotmated QA-ES Series II маркийн Цахилгаан мэс Page 15 of 24 заслын аппарат шалгах тест анализатор, Impulse 7000DP маркийн Дефибрилляторын шалгах тест анализатор) анализатор, симуляторoор шалгалт тохируулга хийгддэг [6].

Энэхүү ажлын хэсгийн хүрээнд шалгалт тохируулга хийх эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийг нэр төрлийн нэмэгдүүлж, INCUTM маркийн нярайн инкубатор шалгах анализатор, IDA 4 Plus маркийн дуслын болон тариурын автомат шахуурга шалгах анализатор, General purpose urethane 84-342 маркийн хэт авиан оношилгооны аппарат шалгах фантомаар туршилтын шалгалт тохируулга хийсэн.

2-р зураг. Шалгалт тохируулга хийгдсэн эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн нэр төрөл

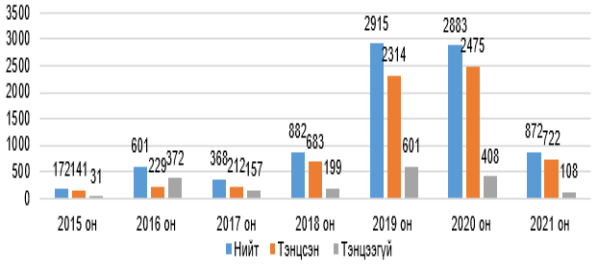
Нийт 9 төрлийн тоног төхөөрөмжийн 224 шалгалт тохируулгын ажил хийж гүйцэтгэсэн ба үүнээс шаардлагад нийцсэн 122 тоног төхөөрөмж, нийцээгүй тоног төхөөрөмж 102 байгаа бөгөөд шаардлага хангасан тоног төхөөрөмж 45,5%-тай байна.

Үүнээс харахад шаардлага хангасан тоног төхөөрөмж 2017 оны байдлаар харьцангуй бага хувийг эзэлж байсан [7].

3-р зураг. Тоног төхөөрөмжийн шалгалт,тохируулгад ашиглах анализатор, симулятор

Шалгалт тохируулгад хамрагдсан эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн мэдээлэл

"Эмнэлгийн тоног төхөөрөмжид шалгалт тохируулга хийх удирдамж, хуваарь"-ийн дагуу ЭМЯ-ны харьяа 4, орон нутгийн 1, НЭМГ-ын харьяа 2, бусад яам, агентлагийн харьяа 3, хувийн хэвшлийн 117 буюу нийт 121 эрүүл мэндийн байгууллагад ашиглагдаж буй 13 нэр төрлийн 1487 эмнэлгийн тоног төхөөрөмж шалгалт тохируулгад хамрагдсанаас 1284 буюу 86.3 % нь тэнцсэн [8].



4-р зураг. Шалгалт тохируулгад хамрагдсан эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн мэдээлэл

2019-2024 онд давхардсан тоогоор нийт 961 эрүүл мэндийн байгууллагын 10220 эмнэлгийн тоног төхөөрөмж шалгалт тохируулгад хамрагджээ [9]. 2023 онд 175 эрүүл мэндийн байгууллагын эмнэлгийн багаж тоног төхөөрөмжид шалгалт тохируулгад хамрагдсан. 2023 онд шалгалт тохируулгад хамрагдсан 1924 тоногт төхөөрөмжийн 1703 нь тэнцэж, 221 тэнцээгүй байна. Эдгээр тоног төхөөрөмжийн 12.7% нь шалгалт тохируулгад тэнцээгүй байна. Үүнээс нийт шалгалт тохируулгад хамрагдсан унтуулгын аппаратын 39.0%, амьсгалын аппаратын 38.8%, Цахилгаан мэс заслын аппарат-26.1%, Хүчилтөрөгч өтгөрүүлэгч-24.4% тус тус тэнцээгүй байна. Пульсоксиметрийн хувьд 2024 оноос шалгалт тохируулга хийж эхэлсэн ба 109 хамрагдаж бүрэн тэнцсэн [10].

Шалгалт тохируулгад тэнцээгүй тоног төхөөрөмж

2020-2024 онд шалгалт тохируулгад хамрагдсан тоног төхөөрөмжийн насжилтын байдлыг авч үзвэл 1-3 жил ашигласан тоног төхөөрөмж 8,6%, 4-6 жил 40,1%, 7-9 жил 19,9%, 10-аас дээш жил ашигласан тоног төхөөрөмж 31,3% байна [11].

ШАЛГАЛТ ТОХИРУУЛГАД ТЭНЦЭЭГҮЙ ТОНОГ ТӨХӨӨРӨМЖ /НАСЖИЛТААР/

ХҮСНЭГТ 2

Тоног төхөөрөмж ашиглалт хугацаа	1-3 жил	4-6 жил	7-9 жил	10 дээш жил	P утга
Амьсгалын аппарат	27.8%	32.6%	40.3%	54.2%	0.0001%
Дуслын автомат шахуурга	10%	27.1%	23.4%	17.2%	0.190%
Зүрхний цахилгаан бичлэгийн аппарат	0.8%	0.3%	0.2%	2.9%	0.014%
Нярайн дулаацуулах ширээ	0.0%	6.7%	0.0%	4.9%	0.891%
Нярайн инкубатор	0.0%	0.0%	0.0%	6.5%	0.287%

Өвчтөний хяналтын монитор	1.6%	4.1%	9.5%	7.4%	0.0001%
Рентген аппарат	0.0%	0.0%	0.0%	5.9%	0.112%
Тарианы автомат шахуурга	4.6%	5.2%	3.3%	4.1%	0.482%
Унтуулгын аппарат	66.7%	42.2%	37.1%	34.9%	0.065%
Хүчилтөрөгч өтгөрүүлэгч	11.4%	19.4%	28.1%	38.2%	0.0001%
Дефибриллятор	14.3%	5.2%	0.0%	7.7%	0.019%
Хэт авиан оношилгооны аппарат	1.1%	0.6%	3.1%	4.2%	0.002%
Цахилгаан мэс заслын аппарат	25.0%	28.6%	21.1%	27.3%	0.977%

Шалгалт тохируулгад тэнцээгүй тоног төхөөрөмж ашиглалтын хугацаанаас хамаарсан (Хүснэгт 2) байгаа эсэхийг тооцоход P<0.05-аас доошоо байвал статистик ач холбогдол бүхий ялгаатай байна гэж үзнэ. Шалгалт тохируулгад хамрагдсан амьсгалын аппаратын тэнцээгүй байдал нь тухайн тоног төхөөрөмжийн ашиглалтын хугацаатай хамааралтай. Ашиглалтын хугацаа их байх тусам шалгалт тохируулгад тэнцээгүй. Тухайлбал 10-аас дээш жилийн насжилттай тоног төхөөрөмжийн хувьд амьсгалын аппарат 54.2%, хүчилтөрөгч өтгөрүүлэгч 38.2%, унтуулгын аппарат 34.9%, цахилгаан мэс заслын аппарат 27.3% тэнцээгүй.

ШАЛГАЛТ ТОХИРУУЛГАД ТЭНЦЭЭГҮЙ ТОНОГ ТӨХӨӨРӨМЖ /ӨМЧИЙН ХЭЛБЭРЭЭР/

ХҮСНЭГТ 3

Тоног төхөөрөмжийн төрөл/хүний нөөц	Төр		Хувь		
	Тэнцсэн	Тэнцээгүй	Тэнцсэн	Тэнцээгүй	P утга
Амьсгалын аппарат	252 (60.9%)	162 (39.1%)	45 (63.4%)	26 (36.6%)	0.792
Дефибриллятор	191 (93.2%)	14 (6.8%)	216(93.9 %)	14 (6.1%)	0.846
Дуслын автомат шахуурга	502 (74.7%)	170 (25.3%)	162 (90.5%)	17 (9.5%)	0.0001
Зүрхний цахилгаан бичлэгийн аппарат	432 (97.1%)	13 (2.9%)	552 (99.3%)	4 (0.7%)	0.012
Нярайн дулаацуулах ширээ	131 (95.6%)	6 (4.4%)	11 (100%)	0	0
Нярайн инкубатор	85 (95.5%)	4 (4.5%)	6 (100%)	0	0
Өвчтөний хяналтын монитор	1152 (92.8%)	90 (7.2%)	661 (96.5%)	24 (3.5%)	0.001
Рентген аппарат	70 (95.9%)	3 (4.1%)	57 (98. 3%)	1 (1.7%)	0.629
Тарианы автомат шахуурга	786 (95.5%)	37 (4.5%)	366 (95.8%)	16 (4.2%)	0.881
Унтуулгын аппарат	104 (60.8%)	67 (39.2%)	54 (61.4%)	34 (38.6%)	0.932
Хүчилтөрөгч өтгөрүүлэгч	767 (74.8%)	259 (25.2%)	481 (77.1%)	143 (22.9%)	0.315
Хэт авиан оношилгооны аппарат	398 (95.9%)	17 (4.1%)	590 (98. %)	9 (1.5%)	0.014
Цахилгаан мэс заслын аппарат	156 (73.2%)	57 (26.8%)	127 (74.7%)	43 (25.3%)	0.815

Шалгалт тохируулгад тэнцээгүй тоног төхөөрөмж өмчийн хэлбэрээс (Хүснэгт 3) хамаарсан хамаарал байгаа эсэхийг тооцоход P<0.05-аас бага байвал статистик ач холбогдол бүхий ялгаатай (хамааралтай) байна.

ШАЛГАЛТ ТОХИРУУЛГАД ТЭНЦЭЭГҮЙ ТОНОГ ТӨХӨӨРӨМЖ /ИНЖЕНЕРИЙН ТӨРЛӨӨР/

ХҮСНЭГТ 4

Тоног төхөөрөмжийн төрөл/хүний нөөц	Үндсэн инженертэй		Гэрээт инженертэй		
	Тэнцсэн	Тэнцээгүй	Тэнцсэн	Тэнцээгүй	P утга
Амьсгалын аппарат	228 (61.0%)	146 (39.0%)	24 (55.8%)	19 (44.2%)	0,513
Дефибриллятор	151 (93.2%)	11 (6.8%)	95 (89.6%)	11 (10.4%)	0,296
Дуслын автомат шахуурга	392 (71.8%)	154 (28.2%)	112 (87.5%)	16 (12.5%)	0,001
Зүрхний цахилгаан бичлэгийн аппарат	214 (97.3%)	6 (2.7%)	476 (97.9%)	10 (2.1%)	0,580
Нярайн дулаацуулах ширээ	113 (95%)	6 (5.0%)	18 (100%)	0	0,330
Нярайн инкубатор	81 (95.3%)	4 (4.7%)	4 (100.0%)	0	0,657
Өвчтөний хяналтын монитор	944 (92.5%)	76 (7.5%)	276 (95.2%)	14 (4.8%)	0,119
Рентген аппарат	64 (95.5%)	3 (4.5%)	7 (100.0%)	0	0,568
Тарианы автомат шахуурга	639 (94.9%)	34 (5.1%)	152 (98.1%)	3 (1.9%)	0,090
Унтуулгын аппарат	97 (60.6%)	63 (39.4%)	7 (63.6%)	4 (36.4%)	0,843
Хүчилтөрөгч өтгөрүүлэгч	479 (73.7%)	171 (26.3%)	492 (74.1%)	172 (25.9%)	0,868
Хэт авиан оношилгооны аппарат	273 (97.8%)	6 (2.2%)	260 (94.9%)	14 (5.1%)	0,062
Цахилгаан мэс заслын аппарат	139 (73.5%)	50 (26.5%)	18 (72.0%)	7 (28.0%)	0,870

Шалгалт тохируулгад тэнцээгүй тоног төхөөрөмж инженерийн байдлаас (Хүснэгт 4) хамааралтай эсэхийг тооцоход P<0.05-аас доошоо байвал статистик ач холбогдол бүхий ялгаатай (хамааралтай) байна гэж үзнэ.

Судалгаанд оролцогчдоос эмнэлгийн тоног төхөөрөмжтэй холбоотой төрийн хяналт, зохицуулалтын тогтолцоо бүрдээгүй гэж 86,1% нь, эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн зохицуулалттай холбоотой хууль эрх зүйн орчин бүрдээгүй гэж 91,7 % нь, эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн чанар аюулгүй байдлын зохицуулалттай холбоотой хууль, эрх зүйн орчин бүрдээгүй гэж 91,9 % нь, эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн хөрөнгийн оновчтой төлөвлөлт, зохицуулалттай холбоотой хууль, эрх зүйн орчин бүрдээгүй гэж 91,7% нь, эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн засвар үйлчилгээний

менежментийн зохицуулалттай холбоотой хууль, эрх зүйн орчин бүрдээгүй гэж 97,3 % нь, эмнэлгийн тоног төхөөрөмжтэй холбоотой төрийн хяналт, зохицуулалтын тогтолцоо бүрдсэн гэж 75% нь, үгүй гэж 25% нь, эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн тусгай зөвшөөрлийн зохицуулалт хангалттай гэж 25,7% нь, үгүй гэж 74,3% нь тус тус хариулжээ [12].

III. ДҮГНЭЛТ

Эмнэлгийн тоног төхөөрөмж нь эрүүл мэндийн салбарт салшгүй холбоотой. Тэдгээр нь өвчнийг оношлох, эмчлэх, урьдчилан сэргийлэх, өвчтөний амь насыг аврахад чухал нөлөөтэй. Эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн найдвартай байдлыг хангахад шалгалт, тохируулга чухал үүрэг гүйцэтгэнэ. Олон улс болон үйлдвэрлэгчийн стандартын дагуу тогтмол хугацаанд шалгалт тохируулгад эмнэлгийн тоног төхөөрөмжүүдийг хамруулах иргэдийн эрүүл мэндийн тусламж үйлчилгээтэй шууд хамааралтай байна.

Шалгалт тохируулгыг хийхдээ нийт Монгол улсын хэмжээнд 14 төрлийн анализатор, симуляторыг ашигладаг. Эрүүл мэндийн хөгжлийн Мэдээллийн технологи, эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн албаны мэргэжилтнүүд нийт 8 төрлийн тоног төхөөрөмжийн 224 ширхэг тоног төхөөрөмжид шалгалт тохируулгын ажил хийж гүйцэтгэсэн ба үүнээс шаардлагад нийцсэн 122 тоног төхөөрөмж, нийцээгүй тоног төхөөрөмж 102 байгаа бөгөөд шаардлага хангасан тоног төхөөрөмж 45,5%-тай байгаа нь шалгалт тохируулгын дараах засвар болон тохируулгын асуудал зайлшгүй шаардлагатай байгааг харуулж байна.

2015 оны 249 дүгээр тушаалын дагуу эмнэлгийн тоног төхөөрөмжид шалгалт тохируулгыг ЭЭХХЗГ хариуцаж эхэлсэн. 2020-2024 онд нийт 826 байгууллага тоног төхөөрөмжийн шалгалт тохируулгад хамрагдах хүсэлт ирүүлснээс энэ хугацаанд 765 эрүүл мэндийн байгууллага 1 удаа, 55 эрүүл мэндийн байгууллага 2 удаа, 5 эрүүл мэндийн байгууллага 3 удаа, 1 эрүүл мэндийн байгууллага 5 удаа тус тус шалгалт тохируулгад хамрагдсан. Энэхүү судалгаанаас харахад тухайн тушаалын хэрэгжилт харьцангуй муу байгаа нь харагдаж байна. Тухайн тушаалын хэрэгжилт муу байгаа нь эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн ашиглалт мэргэжлийн инженер, техникчийн орон тоо болон хүрэлцээ дутмаг байгаатай хамааралтай. Нийт Монгол улсын хэмжээнд 14 төрлийн симуляторыг ашиглаж байгаа нь хүрэлцээгүй байгаа бөгөөд эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн шалгалт тохируулга үр дүн муу байгаа учир шалтгаан болж байна. Цаашид шалгалт тохируулга хийхэд хүний нөөц, анализатор симуляторын нийт хангамж, эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн шалгалт тохируулгын талаарх сургалт гарын авлага арвижуулж чанаржуулах болон үйл ажиллагааг нэгдсэн журмаар хийх лаборатори барихад анхаарах нь зүйтэй гэж бодож байна.

IV. АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] ЭЭХХЗГ-ын ЭТТГ, ”Эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн шалгалт тохируулга хийх журам”, (2021)

[2] ЭТТГ-ын даргын албан үүргийг түр орлон гүйцэтгэгч Р.Энхсүрэн, ”Эм, эмнэлгийн хэрэгслийн хяналт, зохицуулалтын газрын “Эмнэглгийн тоног төхөөрөмжийн газар”-ын танилцуулга”, (2022)

[3] Э.С.Линдон, Р.Б.Беннс, "Introduction to Biomedical Engineering, (2020)

[4] N.Medhat, ”Medical equipment quality assurance for healthcare facilities”, (2009)

[5] Монгол улсын эрүүл мэндийн яам, ”21 аймгийн эрүүл мэндийн байгууллагуудын эмнэлгийн тоног төхөөрөмжийн ашиглалт үйл ажиллагаанд үнэлгээ хийсэн ажлын тайлан”, (2017)

[6] Ц.Гэрлийнрэн, "Medical Equipment Management", (2020)

[7] Д.Салаберри, С.Уонг, "Clinical Engineering: A Handbook for Biomedical Engineers and Clinical Engineers", (2019)

[8] Р.Я.Сиймсууд, Н.Би.Хувьсгал, "Biomedical Engineering Fundamentals", (2021)

[9] Ж.Хейл, М.Трүүк, "Healthcare Technology Management: A Comprehensive Guide", (2018)

[10] ДЭМБ, "Guidelines for the Safe Management of Medical Devices", (2021)

[11] Дж.Г.Гаалд, В.Ж.Остин, "Medical Instrumentation: Application and Design", (2019)

[12] Н.Гэрэлт-Од, ”Эмнэлгийн тоног төхөөрөмжтэй холбоотой хууль эрх зүйн орчныг судлан зохицуулалтын тогтолцоог сайжруулах нь”, (2023)

ХИЙМЭЛ ОЮУН УХААНД СУУРИЛСАН БИОНИК ГАРЫГ ХӨГЖҮҮЛЭХ АСУУДАЛ

Э.Учрал[1*], Д.Пүрэвдаш[2*]
Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургууль, Цахилгаан техникийн салбар
**Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: Uchr22160@gmail.com[1], dashaa@must.edu.mn[2]*

Хураангуй: **Бионик гарт зориулсан үр ашигтай, хямд удирдлагын системийг хөгжүүлэх нь протезын хүртээмж, ажиллагааг сайжруулахад маш чухал. Энэхүү судалгаа нь Mediapipe, зөөврийн компьютерын камер, Arduino ашиглан дүрс танин бионик гар удирдах системийг танилцуулж байна. Уг систем нь урьдчилсан тодорхойлсон гарын дохиог танихын тулд бодит цагийн дүрс танилтын системийг ашигладаг. Mediapipe гарын тэмдэглэгээ нь Python-д боловсруулагдаж, Arduino-оор серво моторыг удирддаг. Энэхүү арга нь инвазив төрлийн мэдрэгчүүдийн хэрэгцээг арилгаж, илүү хямд инвазив бус удирдлагын хувилбарыг санал болгож байгаа юм. Туршилтын үр дүнгээс харахад гэрэлтүүлгийн нөхцөл, камерын байршил зэрэг хүчин зүйлүүдээс хамаарч танилтын нарийвчлал болон хоцролт бага байна. Үр дүн нь хиймэл оюун ухаанд суурилсан дасан зохицох чадвартай, утасгүй удирдлага нь ирээдүйтэй систем болохыг харуулж байна.**

Түлхүүр үг: Инвазив бус, дүрс танилт, python.

I. УДИРТГАЛ

Бионик хиймэл гар нь дээд мөчний тайралттай хүмүүсийн хөдөлгөөнийг сэргээх чадвартай. Дэлхийн Эрүүл Мэндийн Байгууллагын (ДЭМБ) мэдээлснээр дэлхий даяар нэг тэрбум гаруй хүн ямар нэг хэлбэрийн хөгжлийн бэрхшээлтэй[1] бөгөөд сая сая хүн гэмтэл, өвчин, төрөлхийн эмгэгийн улмаас дээд мөчний алдагдалтай байна. Уламжлалт хиймэл гар нь гоо сайхны загвараас эхлээд дэвшилтэт робот систем хүртэл байдаг ч өндөр өртөг, нарийн төвөгтэй удирдлагын механизм зэрэг бэрхшээлүүдтэй тулгардаг [2].

Одоогийн бионик гарыг удирдах механизмууд нь булчингийн хөдөлгөөн эсвэл тархины үйл ажиллагааг ашиглаж цахилгаан миографи (EMG) ба цахилгаан энцефалографи (EEG) зэрэг био цахилгаан дохионд тулгуурладаг. Хэдийгээр үр дүнтэй боловч эдгээр аргууд нь электродыг байрлуулах, булчинг дасгах, дахин тохируулах шаардлагатай байдаг тул өдөр тутмын хэрэглэгчдэд хүртээмжгүй. Нэмж дурдахад BeBionic гар ($11,000) болон i-Limb ($18,000) зэрэг өндөр хүчин чадалтай бионик гарууд ихэвчлэн өндөр үнэтэй байдаг [3,4].

Эдгээр хязгаарлалтуудыг арилгахын тулд компьютерын хараанд суурилсан дохио таних арга нь протезын удирдлагын ээлтэй хувилбарыг санал болгож байна. Машин сургалт, зураг боловсруулах сүүлийн үеийн дэвшил нь Google-ийн MediaPipe гэх мэт бодит цагийн гар хянах системийг өндөр нарийвчлалтайгаар дохио таних боломжийг олгодог. Энэхүү судалгаа нь зөөврийн компьютерын камер, MediaPipe болон Arduino удирдлагатай робот гарыг ашигласнаар булчингийн сенсор, инвазив процедургүйгээр бионик гар удирдаж болох хямд өртөгтэй, инвазив бус аргыг санал болгож байна.

Энэхүү өгүүлэлд дүрст дохиогоор удирддаг бионик гар системийг танилцуулж, түүний техник хангамж, программ хангамжийн бүтэц, дохио зангаа таних алгоритм, гүйцэтгэлийн үнэлгээ зэргийг нарийвчлан авч үзэж боломжийн үнэтэй, хүртээмжтэй, үр дүнтэй протезын удирдлагын системийг бэлэн технологи ашиглан хөгжүүлэх зорилго тавив.

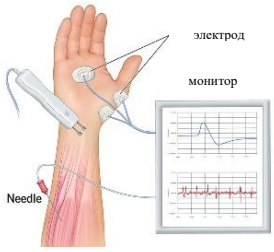
II. СИСТЕМИЙН СУДАЛГАА

A. Уламжлалт бионик гар удирдлагын системүүд

Бионик гар удирдах нь уламжлалт аргууд нь био цахилгаан дохио, механик холболт, бие махбодоор ажилладаг механизмууд дээр тулгуурладаг. Эдгээрийн дотор цахилгаан миографи (EMG) болон цахилгаан энцефалографи (EEG) нь өргөн хэрэглэгддэг.

1) EMG-д суурилсан удирдлага

EMG-д суурилсан хяналтын систем нь гэмтсэн булчингийн үлдсэн хэсгээс булчингийн цахилгаан дохиог илрүүлж арьсны гадаргуу дээр байрлуулсан электродуудаар дохиог ашиглан боловсруулж бионик гарыг удирддаг. Үр дүнтэй хэдий ч EMG-д суурилсан системүүд хэд хэдэн бэрхшээлтэй тулгардаг.



1-р зураг. Булчингийн цахилгаан дохио

Электродын байршил: Дохионы чанар нь мэдрэгчийн б ЗҮҮ лаас нарийн хамаарна.

Булчингийн ядралт: Удаан хугацаагаар хэрэглэхэд дохионы хүч буурдаг.

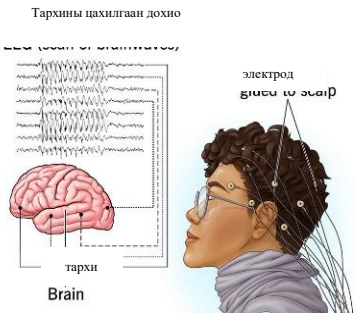
Тохируулга: Нарийвчлалыг хадгалахын тулд байнга дахин тохируулга хийх шаардлагатай.

BeBionic ($11,000), i-Limb ($18,000) зэрэг өндөр чанартай бионик гарууд нь миоэлектрик (EMG-д суурилсан) удирдлагад тулгуурладаг ч өндөр өртөг нь олон хэрэглэгчдэд хүртээмжгүй.

2) EEG-д суурилсан удирдлага

EEG-д суурилсан систем нь хуйханд байрлуулсан электродыг ашиглан тархины дохиог бүртгэж боловсруулан хөдөлгөөнийг таамаглана. Гэсэн хэдий ч EEG-д суурилсан удирдлага дараах байдлаар хязгаарлагддаг.

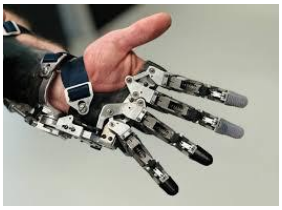
EMG-тэй харьцуулахад дохионы нягтрал бага. Машин сургалтын дэвшилтэт загваруудыг шаарддаг өндөр тооцооллын нарийн төвөгтэй байдал. EEG суулгасан мэдрэгч шаардлагатай тул инвазив учир тухгүй. EEG-д суурилсан протезын удирдлага нь судлагдсан боловч энэ нь бодит хэрэглээний практик хувилбар болж чадаагүй байна.



2-р зураг. Тархины цахилгаан дохио

3) Механик ба биеийн хүчээр ажилладаг протез

Уламжлалт механик хиймэл гар нь утас, оосор гэх мэт биеийн хүчний механизмыг ашиглан ажилладаг. Эдгээр системүүд нь энгийн бөгөөд зардал багатай боловч нарийн төвөгтэй хөдөлгөөн хийхэд хязгаарлагдмал.

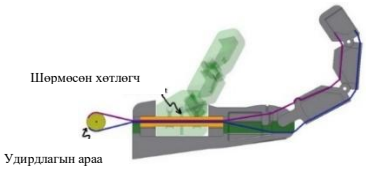


3-р зураг. Механик гар

B. *Бионик гар дизайны дэвшил*

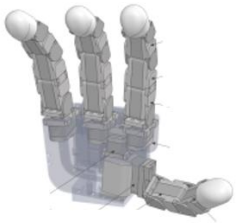
1) Шөрмөс хөтлөгчтэй ба моторт протез

Бионик гарыг ихэвчлэн шөрмөсөн холбоосоор эсвэл шууд моторoор удирддаг системийг ашигладаг.



4-р зураг. Шөрмөсөн хөтлөгчтэй гар

Шөрмөс хөтлөгчтэй ажилладаг бионик гар нь хиймэл шөрмөс ашиглан хүний хурууны байгалийн хөдөлгөөнийг дуурайдаг. Эдгээр системүүд нь өндөр уян хатан байдлыг хангадаг боловч засвар үйлчилгээний өндөр зардал, нарийн төвөгтэй засвараас болж хүндрэлтэй [5].



5-р зураг. Хөдөлгүүрэн хөтлөгтэй гар

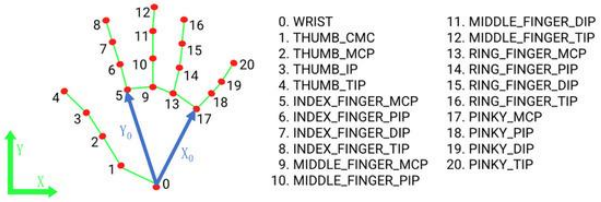
Хөдөлгүүрээр ажилладаг бионик гар нь жижиг мотор ашиглан хуруу бүрийг тус тусад нь удирддаг. Эдгээр системүүд нь нарийн хяналтыг хангадаг боловч өндөр эрчим хүчний хэрэглээ, нарийн төвөгтэй хэлхээ шаардаг.

C. *Машин сургалт ба компьютерийн хараанд суурилсан дүрст дохио таних*

Машин сургалт, компьютерын харааны талаарх сүүлийн үеийн судалгаагаар дүрст дохиогоор протезд шинэ удирдлагын систем нэвтрүүлсэн. Био цахилгаан дохиог ашиглахын оронд дүрст зангаа таних систем нь гарын хөдөлгөөнийг хянах, команд болгон хөрвүүлэхийн тулд компьютерын харааг ашигладаг.

1) Бодит цагийн дүрст дохио таних MediaPipe

Дүрст дохионд суурилсан протезын удирдлагын хамгийн ирээдүйтэй хэрэгслүүдийн нэг бол Google-ийн MediaPipe бөгөөд гарыг бодит цаг хугацаанд хянах чадвартай машин сургалтын систем юм. MediaPipe нь 21 цэгээр гарны дохиог тэмдэглэгээг өндөр нарийвчлалтайгаар илрүүлнэ. Бага чадалтай төхөөрөмж дээр ч гэсэн хурдан, бодит цагийн гүйцэтгэл сайтай. Янз бүрийн гэрэлтүүлгийн нөхцөлд найдвартай.



6-р зураг. MediaPipe 21 тэмдэглэгээ

Энэхүү судалгаа нь MediaPipe-ийг зөөврийн компьютерын камер болон Arduino-той хослуулан ашиглан, удирдлагын уламжлалт аргуудаас хямд, инвазив бус хувилбарыг санал болгоно.

D. *Одоо байгаа бионик гаруудын харьцуулалт*

Зах зээл дээрх бионик гарууд нь олон боломжуудыг санал болгодог бөгөөд үнэ өртгийн хувьд ялгаатай байдаг. Хүснэгт 1-д хамгийн алдартай бионик гаруудыг харьцуулсан болно.

ТӨСТЭЙ БҮТЭЭГДЭХҮҮНҮҮДИЙН СУДАЛГАА.

ХҮСНЭГТ 1.

Протез	**Удирдах арга**	**Онцлог**	**Үнэ**
BeBionic гар	EMG	Олон атгах загвар, хүчтэй атгах хүч	$11,000
i-Limb	EMG	Тус тусад нь ажилладаг хуруу, гар утасны	$18 ,000

		программын удирдлага	
Taska гар	EMG	Усны хамгаалалттай, бат бөх загвар	$10,000+
Vincent гар	EMG	Боломжийн үнэ, энгийн загвар	~$5,000
Санал болгож буй систем	MediaPipe	Хямд өртөгтэй, электродгүй, дасан зохицох боломжтой дохио	<$300

Санал болгож буй систем нь ажиллагаа сайтай, хэрэглэхэд хялбар байдлыг хадгалахын зэрэгцээ бага зардлаар бүтээгдэхээр зорьсон.

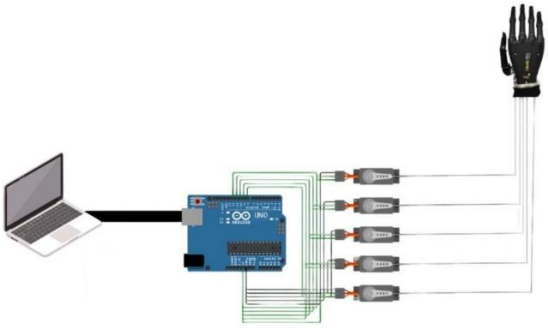
(а) (б) (в) (г)

7-р зураг. (а) BeBionic гар, (б) i-Limb гар, (в) Taska гар, (г) Vincent гар.

III. АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ БА АРГА ЗҮЙ

A. Системийн архитектур

Энэ систем нь компьютерын хараа, serial communication, микроконтроллерт суурилан бионик гарыг бодит цагийн дүрст дохиогоор таних, удирдах механизмаас бүрдэнэ. Ажлын урсгал нь MediaPipe-ийн гар хянах модулийг ашиглан боловсруулдаг, гарын зургийг авдаг зөөврийн компьютерын камераас эхэлнэ. MediaPipe хүний гарны 21 гол тэмдэглэгээг задлан шинжилж, алга, нударга, чимхэх зэрэг урьдчилан тодорхойлсон дохионуудыг ангилдаг. Дохио танигдсаны дараа дохионы командыг serial communication-оор Arduino микроконтроллер руу илгээдэг. Arduino нь хүлээн авсан командыг авч, серво моторуудыг удирдаж, хурууны хөдөлгөөнүүдийг дуурайдаг.



8-р зураг. Системийн архитектур

B. Техник хангамж

Энэхүү систем нь үндсэн гурван техник хангамжаас бүрдэнэ. Үүнд камертай зөөврийн компьютер, Arduino микроконтроллер, серво мотор, 3D хэвлэсэн гар [8].

9-р зураг. 3D хэвлэсэн гар

Техник үзүүлэлтүүд:

- Хэмжээ: 290 x 140 x 90 мм
- Жин: 220 гр
- Атгалтын хүч: 3.52 Н

Зөөврийн компьютерын камер нь ихэвчлэн секундэд 30 фрэймийн хурдтай (FPS) бодит цагийн видео оролтыг авах бөгөөд гарны дохиог тод буулгаж авдаг. Энэ нь MediaPipe-д гарны хөдөлгөөнийг хянахад шаардлагатай визуал мэдээллийг өгдөг.

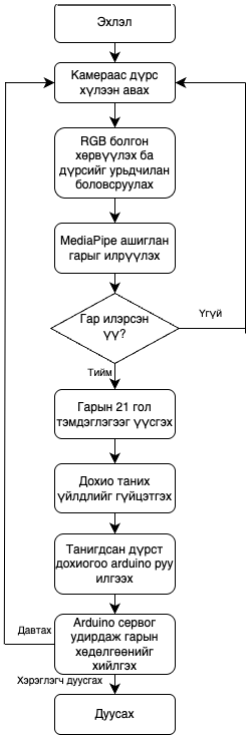
Arduino микроконтроллер (Arduino Uno) нь моторын удирдлагын боловсруулах үүргийг гүйцэтгэнэ. Энэ нь USB serial холболтоор зөөврийн компьютероос дохионы командуудыг хүлээн авч, серво моторыг удирдах замаар эдгээр командуудыг хөдөлгөөн болгон хувиргадаг. Arduino нь дохионы команд бүрийг урьдчилан тодорхойлж, серво моторт хөдөлгөөний багц болгон шилжүүлснээр бионик гарыг жигд, нарийвчлалтай удирддаг[9].

Бионик гар нь 3D хэвлэсэн робот гар. Хөнгөн хуруунд зориулсан SG90 серво нь хуруу тус бүрийг удирддаг. Загвар нь хуруугаараа бие даасан эсвэл бүлэглэн хөдөлгөөн хийх боломжийг олгодог бөгөөд хүчтэй атгалт, нарийн атгалт, нээлттэй гарын дохио зэрэг янз бүрийн атгах хэлбэрийг үүсгэдэг [10].

C. Програм хангамж

Системийн программ хангамжийн бүрэлдэхүүн хэсгүүдэд дүрст дохио танихад зориулагдсан MediaPipe, зураг боловсруулах, харилцахад зориулагдсан Python, моторыг удирдах Arduino код зэрэг багтана.

MediaPipe-ийн гар хянах модуль нь гарын хурууны үе, алганы төв зэрэг гар дээрх 21 цэгийг илрүүлдэг. Эдгээр тэмдэглэгээг Python болон OpenCV ашиглан боловсруулдаг бөгөөд тэдгээр нь байрлалд нь дүн шинжилгээ хийж, урьдчилан тодорхойлсон загварт үндэслэн тодорхой дүрст дохиогоор ангилдаг.



Python нь бодит цагийн боловсруулалт, дохио ангилах, Arduino-той serial холболтыг зохицуулдаг. Энэ нь хүлээж авсан дүрст дохиог USB serial холболтоор өгөгдлийн багц хэлбэрээр тасралтгүй илгээж, Arduino-д бионик гарын байрлалыг бодит цаг хугацаанд шинэчлэх боломжийг олгодог.

Arduino тал дээр C++ скрипт нь ирж буй цуваа өгөгдлийг боловсруулж, тодорхой серво моторын байрлал руу хөрвүүлдэг. Хурууны хөдөлгөөн бүрийг харгалзах серво өнцгөөр дүрсэлсэн бөгөөд бионик гар нь хэрэглэгчийн дүрст дохионд үнэн зөв хариу үйлдэл үзүүлдэг. Arduino скрипт нь моторын хэт ачааллаас сэргийлж жигд хөдөлгөөнийг хангах серво тохируулгын функцуудыг агуулдаг.

D. *Дүрст дохио таних алгоритм*

Дохио таних үйл явц нь дөрвөн үндсэн үе шатаас бүрдэнэ.

1. Гар илрүүлэх ба тэмдэглэгээг гаргаж авах.

MediaPipe нь камер дахь хэрэглэгчийн гарыг тодорхойлж, гар дээрх үе мөч эсвэл чухал цэгийг илэрхийлдэг 21 гол тэмдэглэгээг гаргаж авдаг. Эдгээр тэмдэглэгээг нормчлогдсон (x, y, z) координат болгон буцаадаг бөгөөд x ба y нь зураг дээрх байрлалыг, z нь гүнийг (камераас хол зай) заадаг.

2. Онцлогийн боловсруулалт ба дохионы ангилал.

Систем нь гол тэмдэглэгээний хоорондох зайг (жишээ нь, хурууны үзүүр, алганы уг) тооцоолж, хуруу нээлттэй эсвэл хаалттай эсэхийг тодорхойлдог. Дохиог ангилахын тулд тэмдэглэгээний харьцангуй байрлалыг шинжилдэг. Жишээлбэл, хэрэв бүх хурууны үзүүр алган дээр ойрхон байвал систем нь нударга гэж үзнэ. Хэрэв бүх хуруугаа сунгасан бол энэ нь нээлттэй алга гэж танина.

3. Урьдчилан тодорхойлсон дохионы зураглал.

Дараах дохио зангааг системд урьдчилан тодорхойлсон.

Нударга → Бүх хуруугаа хаах → Бүх сервог хаах.

Алга нээх → Бүх хуруугаа сунгах → Бүх сервог нээх.

Чимхэх → Эрхий болон долоовор хуруугаараа хүрэх → Нарийвчлалтай атгах.

Нэмэлт тэмдэглэгээний нөхцөлийг тодорхойлох замаар дохиог нэмж болно.

4. Бодит цагийн гүйцэтгэл ба оновчлол.

Python скрипт нь камерын фрэймүүдийг тасралтгүй боловсруулж, дохио зангаа таних нь бага хоцролттой (хүрээ тутамд ~50 мс) ажиллах боломжийг олгодог.

Бага зэргийн гар чичиргээ эсвэл илрүүлэх нарийвчлалын хэлбэлзлээс болж тогтворгүй хөдөлгөөнөөс зайлсхийхийн тулд жигдрүүлэх техникийг ашигладаг [11,12].

E. *Тооцоолол*

1) Гарын тэмдэглэгээ хоорондын зайг тооцоолох

Дохио танихад ашигладаг үндсэн тооцооллын нэг бол гарын тэмдэглэгээний хоорондох Евклидийн зай юм. 3D орон зайн хоёр цэгийн хоорондох зайг дараах томьёогоор тооцоолно.

$$\text{Зай} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

(x_1, y_1, z_1) ба (x_2, y_2, z_2) нь хоёр тэмдэглэгээний координатууд юм. Жишээлбэл, долоовор хурууны үзүүр (тэмдэг 8) ба эрхий хурууны суурь (тэмдэг 4) хоорондох зайг тооцоолохын тулд Евклидийн зайг дараах байдлаар тооцоолно.

$$\text{Зай}_{\text{эрхий хуруу}-\text{долоовор хуруу}} = \sqrt{(x_8 - x_4)^2 + (y_8 - y_4)^2 + (z_8 - z_4)^2}$$

Энэ зай нь эрхий болон долоовор хурууны харьцангуй байрлалын хэлж өгдөг. Их зай нь гараа нээлттэй байгааг илтгэдэг бол бага зай нь хаалттай нударгыг илэрхийлдэг.

2) Зайнаас хамааран дохионы ангилал

Гол тэмдэглэгээний хоорондох тооцоолсон зайг ашиглан систем нь дараах энгийн дүрст дохио ангилж болно.

Нээлттэй гар: Эрхий болон долоовор хурууны хоорондох зай их байх нь гараа нээлттэй байгааг илтгэнэ. Хаалттай нударга: Эрхий болон долоовор хурууны хоорондох бага зай нь хаалттай нударга байгааг илтгэнэ. Жишээлбэл, долоовор хурууны үзүүр ба эрхий хурууны суурийн хоорондох зай нь босго хэмжээнээс бага (жишээ нь, 0.05) байвал дохиог нударга гэж ангилна. Хэрэв зай нь босго хэмжээнээс хэтэрсэн бол (жишээ нь, 0.1) дохиог нээлттэй гар гэж ангилдаг.

3) Хурууны сегментийн өнцгийн тооцоо

Дохио зангааг илүү нарийвчилсан ангилахын тулд бид хурууны сегментүүдийн хоорондох өнцгийг тооцоолно. Энэ нь ялангуяа эрхий хуруу эсвэл энх тайвны тэмдэг гэх мэт илүү төвөгтэй дохио зангааг танихад тустай.

Гурван тэмдэглэгээний хоорондох өнцгийг тооцоолохын тулд бид цэгийн бүтээгдэхүүний томьёог ашиглана:

$$\theta = cos^{-1}(\frac{A * B}{|A||B|})$$

А ба В нь тэмдэглэгээнээс үүссэн векторууд

Тодруулбал, А вектор нь хурууны суурь ба дунд үений ялгаа, В нь дунд ба үзүүрийн үений ялгаа юм. θ өнцөг нь эдгээр хоёр сегментийн хоорондох өнцгийг илэрхийлнэ. Жишээлбэл, долоовор хурууны суурь (тэмдэг 5), долоовор хурууны дунд (тэмдэг 6), долоовор хурууны үзүүр (тэмдэг 8) хоорондох өнцгийг тооцоолохын тулд бид векторуудыг тооцоолно.

Вектор А = $(x_6 - x_5, y_6 - y_5, z_6 - z_5)$

Вектор В = $(x_8 - x_6, y_8 - y_6, z_8 - z_6)$

Дараа нь θ өнцгийг А ба В цэгийн үржвэр, векторуудын хэмжээг ашиглан тооцоолно. Өнцөг нь хурууны мурийлтыг хэмждэг бөгөөд энэ нь эрхий хуруу (эрхий хуруу ба алга хоёрын хоорондох том өнцөг) эсвэл энх тайвны тэмдэг (долоовор ба дунд хурууны хоорондох 180 ° ойролцоо өнцөг) гэх мэт дохиог танихад зайлшгүй шаардлагатай байдаг.

IV. ҮР ДҮН

A. Прототипийн гүйцэтгэл

Уг прототипийн гарын дохиог таньж, зохих бионик гарын хөдөлгөөн болгон хөрвүүлэх нарийвчлалыг туршсан. Дүрст дохио таних системийн ажиллагааг нарийвчлал, хоцролт, серво моторын нарийвчлалд үндэслэн үнэлэв.

Дүрст дохионы ангиллын нарийвчлалыг системийн урьдчилан таамагласан дохио зангааг хэрэглэгчийн хийсэн бодит гар хөдөлгөөнтэй харьцуулах замаар хэмжсэн. Нээлттэй алга, хаалттай нударга, чимх зэрэг урьдчилан тодорхойлсон хэд хэдэн дохио зангааг хяналттай нөхцөлд туршсан.

MediaPipe-ээр дохио илрүүлэх болон бионик гарт тохирох хөдөлгөөнийг гүйцэтгэх хоорондын хугацааны интервалыг хэмжих замаар хоцролтыг үнэлэв. Нийт хариу өгөх хугацаа нь зураг авах, шинж чанарыг задлах, ангилах, цуваа холбоо, мотор ажиллуулах ба саатал багтсан.

Серво моторын нарийвчлалыг хурууны хөдөлгөөний жигд хөдөлгөөн, нарийвчлалд дүн шинжилгээ хийх замаар шалгасан. Серво мотор бүрт янз бүрийн дүрст дохиотой тохирох өнцгийн тодорхой эргэлтийн хэмийг өгсөн. Техник хангамжийн хязгаарлалтаас шалтгаалж механик алдаа, саатал гарсан эсэхийг тодорхойлохын тулд серво хариу өгөлтийн өөрчлөлтийг тэмдэглэв. Хөдөлгөөн нь гарны хөдөлгөөнтэй яг адилхан байхын тулд хөдөлгүүрийн хөдөлгөөний жигд, тогтвортой байдлыг ажигласан.

B. Хүрээлэн буй орчны хүчин зүйлүүд

Системийн гүйцэтгэлд хүрээлэн буй орчны нөлөөнд дүн шинжилгээ хийж, гэрэлтүүлгийн нөхцөл, болзошгүй асуудалд анхаарлаа хандуулав. Дохио таних нарийвчлалыг гэрэлтүүлэг сайтай, бүдэг гэрэлтэй, арын гэрэлтүүлэг зэрэг янз бүрийн гэрэлтүүлгийн орчинд туршсан.

Зураг 10. Дэлгэмэл гар

Зураг 11. Ардаасаа.

Зураг 12. Атгасан гар

Зураг 13. Эрхий хуруу нээлттэй.

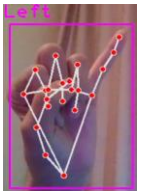
Зураг 14. Долоовор хуруу нээлттэй.

Зураг 15. Дунд хуруу нээлттэй.

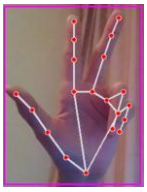
Зураг 16. Ядам хуруу нээлттэй.

Зураг 17. Чигчий хуруу нээлттэй.

Зураг 18. 3 хуруу нээлттэй.



Зураг 19. Чигчий хуруу нээлттэй танилт.



Зураг 20. 3 хуруу нээлттэй танилт.

Зураг 21. 2 хуруу нээлттэй танилт.

Зураг 22. Гэрэл муутай орчинд нээлттэй алга танилт.

Зураг 23. Гэрэл муутай орчинд атгалт танилт.

Зураг 24. Гэрэл муутай орчинд чигчий хуруу танилт.

Гэрэлтүүлэг сайтай нөхцөлд систем нь оновчтой ажиллаж байсан бол бүдэг гэрэлтэй үед дүрсний тод байдал багассаны улмаас илрүүлэх нарийвчлал багассан нь ажиглагдсан. Хэт их сүүдэр, хурц гэрэл нь гар тэмдэглэгээг танихад нөлөөлсөн бөгөөд энэ нь хааяа буруу ангилалд хүргэдэг.

V. ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

A. Компьютерийн харааанд суурилсан протезийн удирдлагын үр дүнтэй байдал

Санал болгож буй компьютерын харааанд суурилсан протезын удирдлагын системийг уламжлалт цахилгаан миографи (EMG) дээр

суурилсан системтэй харьцуулан үзэв. EMG-д суурилсан удирдлага нь гадаргуугийн электродоор илрүүлсэн булчингийн дохион дээр тулгуурлаж зөв хариу өгөхийн тулд мэдрэгчийн тохируулга, булчингийн сургалт, электродыг зөв байрлуулах шаардлагатай. Хэдийгээр үр дүнтэй боловч эдгээр системүүд нь дохионы хөндлөнгийн оролцоо, булчингийн ядаргаа, мэдрэгчийн бэхэлгээний асуудал үүсэж болно. Үүний эсрэгээр, MediaPipe-г ашигладаг компьютерын хараанд суурилсан систем нь биет мэдрэгч болон арьсанд шууд хүрэх хэрэгцээг арилгаж, бионик гарыг удирдах инвазив бус хувилбарыг санал болгодог. Зөөврийн компьютерын камераар дамжуулан дохио таних нь хэрэглэгчдэд электрод тавих эсвэл булчинг урьдчилан тохируулах шаардлагагүйгээр хиймэл эрхтэнтэй харилцах боломжийг олгодог. Компьютерын хараанд суурилсан аргын үр нөлөө нь камерын чанар, гэрэлтүүлгийн нөхцөл, гарны байрлал зэрэг гадаад хүчин зүйлээс хамаардаг бөгөөд энэ нь гүйцэтгэлийн асуудал үүсгэж болзошгүй юм.

B. *Хязгаарлалт ба сорилтууд*

Хэдийгээр давуу талтай ч систем нь шийдвэрлэх шаардлагатай тодорхой хязгаарлалтуудтай. Гол бэрхшээлүүдийн нэг нь гэрэлтүүлгийн нөхцөлөөс хамааралтай. Дохио таних нарийвчлалд гэрэлтүүлгийн өөрчлөлт нөлөөлж, гэрэлтүүлэг муу эсвэл хэт хурц гэрэл нь гүйцэтгэлийг бууруулдаг. Сүүдэр, тусгал эсвэл гэрэл багатай орчин нь гарын тэмдэглэгээг бүрхэж, дүрст дохиог буруу ангилахад хүргэдэг.

Бодит цагийн боловсруулалтын хоцролт нь системийн хариу үйлдэлд нөлөөлдөг өөр нэг хүчин зүйл юм. Зураг авах, тэдгээрийг MediaPipe ашиглан боловсруулах, serial холболтоор өгөгдөл дамжуулах, серво моторыг ажиллуулахад шаардагдах хугацаа нь дохио таних болон бионик гарны бие махбодын хөдөлгөөний хооронд бага зэрэг саатал үүсгэдэг. Систем нь нэг фрейм тутамд ойролцоогоор 50 миллисекундын хариу өгөх дундаж хугацаатай ажилладаг ч хоцролтыг багасгах, бодит цагийн хяналтыг сайжруулахын тулд цаашдын оновчлол шаардлагатай.

Гарын олон янзын байрлал, динамик дохио зангааг дэмжихийн тулд системийг өргөжүүлэх нь түүний олон талт байдлыг сайжруулах болно. Гэсэн хэдий ч хүлээн зөвшөөрөгдсөн дохионы тоог нэмэгдүүлэхийн тулд илүү дэвшилтэт машин сургалтын загварууд эсвэл одоо байгаа алгоритмуудыг нарийн тохируулах шаардлагатай болно.

C. *Ирээдүйн сайжруулалт*

Системийн үйл ажиллагаа, дасан зохицох чадварыг сайжруулахын тулд хэд хэдэн сайжруулалтыг хийж болно. Боломжит нэг дэвшил бол зөөврийн компьютер болон Arduino хоёрын утасгүй холболт нь физик USB холболтын хэрэгцээг арилгаснаар хөдөлгөөнийг сайжруулна. Bluetooth эсвэл Wi-Fi-д суурилсан өгөгдөл дамжуулалтыг хэрэгжүүлснээр хиймэл эдийг өдөр тутмын хэрэглээнд илүү практик болгож, компьютерт холбохгүйгээр хөдөлгөөнийг илүү уян хатан болгох боломжтой. Өөр нэг чухал сайжруулалт бол мэдрэхүйн хариу үйлдэл үзүүлэхийн тулд мэдрэгч хийх юм. Энэхүү дэвшилт нь хэрэглэгчдэд хүрэлцэх, атгах хүчний талаарх мэдлэгийг олгох замаар уламжлалт протез ба байгалийн гарны үйл ажиллагааны хоорондын ялгааг арилгах болно. Эдгээр хязгаарлалтыг шийдэж, ирээдүйн сайжруулалтыг оруулснаар санал болгож буй компьютерийн хараанд суурилсан удирдлагын системийг гүйцэтгэл, хэрэглэгчийн туршлага, туслах технологийн практик хэрэглээг сайжруулахын тулд улам боловсронгуй болгоно [13].

VI. ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгаа нь бионик гарыг удирдахад компьютерын хараанд суурилсан дүрст дохио таних систем, гар хянахад MediaPipe, боловсруулахад Python, идэвхжүүлэхэд Arduino-д суурилан судалсан. Үр дүн нь зөөврийн компьютерын камер ашиглан дохио таних нь уламжлалт EMG-д суурилсан протезын хяналтыг орлуулах боломжтой бөгөөд булчингийн мэдрэгчийн хэрэгцээг арилгаж, хүртээмжтэй, хямдаар шийдсэн. Уг систем нь урьдчилан тодорхойлсон гарын дохио амжилттай таньж, хурууны харгалзах хөдөлгөөн болгон хувиргаснаар протезын бодит удирдлагыг бий болгоно.

Бионик гарыг удирдах инвазив бус, өртөгт хэмнэлттэй, хялбар дасан зохицох аргыг санал болгож байгаа тул протезын технологид энэ арга нь ихээхэн ач ашигтай. Энэхүү систем нь булчингийн нарийн төвөгтэй сургалт, электрод байрлуулах хэрэгцээг арилгаснаар хэрэглэгчдэд, ялангуяа хязгаарлагдмал орчинд ашиглах боломжийг олгоно. Хэдийгээр давуу талтай ч гэрэлтүүлгийн нөхцөл, камерын байршил зэрэг хүрээлэн буй орчны хүчин зүйлүүд нь таних нарийвчлалд нөлөөлдөг.

Цаашдын ажил нь дохионы ангиллын нарийвчлалыг сайжруулах, хүлээн зөвшөөрөгдсөн хөдөлгөөний хүрээг өргөжүүлэх, боловсруулалтын саатлыг багасгахад чиглэнэ. Зөөврийн компьютер болон Arduino хоорондын физик холболтын хязгаарлалтыг утасгүй холболт ашиглах замаар чадварыг сайжруулна. Цаашдын дэвшилтүүд нь мэдрэгчтэй мэдээллүүдийг хүлээн авах замаар илүү бодит мэт мэдрэмж төрүүлэхээр байгальтай харьцах боломжийг хэрэглэгчдэд олгоход зорино. Эдгээр хязгаарлалтыг шийдэж, удирдлагын системийг сайжруулснаар нь зах зээл дээрх бионик гарны сул талыг нөхөж, хэрэглэхэд хялбар хэрэглэгчдэд хүртээмжтэй болно.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] Officer, A.; Posarac, S. World Report on Disability; World Health Organ: Geneva, Switzerland, 2011

[2] Cordella, F.; Ciancio, A.L.; Sacchetti, R.; Davalli, A.; Cutti, A.G.; Guglielmelli, E.; Zollo, L. Literature review on needs of upper limb prosthesis users. Front. Neuro-Sci. 2016, 10, 209.

[3] Leone, F.; Gentile, C.; Cordella, F.; Gruppioni, E.; Guglielmelli, E.; Zollo, L. A parallel classification strategy to simultaneous control elbow, wrist, and hand movements. J. Neuroeng. Rehabil. 2022, 19, 1–17.
[4] Kim, M.K.; Parasuraman, R.N.; Wang, L.; Park, Y.; Kim, B.; Lee, S.J.; Lu, N.; Min, B.-C.; Lee, C.H. Soft-packaged sensory glove system for human-like natural interaction and control of prosthetic hands. NPG Asia Mater. 2019, 11, 1–12.
[5] Yang, H.; Wei, G.; Ren, L.; Qian, Z.; Wang, K.; Xiu, H.; Liang, W. An Affordable Linkage-and-Tendon Hybrid-Driven Anthropomorphic Robotic Hand—MCR-Hand II. J. Mech. Robot. 2021, 13, 1–34
[6] VINCENTevolution4. Vincent Systems. Available online: www.vincentsystems.de/vincent-evolution4.
[7] Van Der Niet, O.; van der Sluis, C.K. Functionality of i-LIMB and i-LIMB Pulse hands: Case report. J. Rehabil. Res. Dev. 2013, 50, 1123.
[8] Zuniga, J.M.; Peck, J.L.; Srivastava, R.; Katsavelis, D.; Carson, A. Functional Assessment of 3D Printed Hand Prostheses Compared to Commercial Prostheses. *J. Rehabil. Res. Dev.* 2016, *53*, 159–174.
[9] Banzi, M.; Shiloh, M. *Getting Started with Arduino*; 3rd ed.; Maker Media: Sebastopol, CA, USA, 2020
[10] TowerPro. SG90 Micro Servo Technical Specifications. Available at: https://www.towerpro.com.sg/sg90/
[11] Zhang, F.; Bazarevsky, V.; Vakunov, A.; Sung, G.; Chang, C.L.; Grundmann, M. MediaPipe Hands: On-Device Real-Time Hand Tracking. *arXiv preprint* **2020**, arXiv:2006.10214. Available at: https://arxiv.org/abs/2006.10214
[12] Castellini, C.; Artemiadis, P.; Wininger, M.; Ajoudani, A.; Alimusaj, M.; Bicchi, A.; Nowak, M.; Rossi, S. Proceedings of the First Workshop on Myoelectric Control for Bionic Limbs. *Front. Neurorobotics* 2014, *8*, 1–13.
[13] Shehata, A.W.; Engels, L.F.; Controzzi, M.; Cipriani, C.; Scheme, E.J.; Sensinger, J.W. Improving internal model strength and performance of prosthetic hands using augmented feedback. J. Neuroeng. Rehabil. 2018, 15,x

ISSN 1560-8794