



МОНГОЛ УЛСЫН ШИНЖЛЭХ УХААН
ТЕХНОЛОГИЙН ИХ СУРГУУЛЬ

MONGOLIAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

ЭРДЭМ ШИНЖИЛГЭЭНИЙ БҮТЭЭЛИЙН ЭМХЭТГЭЛ

*бакалавр, магистр оюутны
эрдэм шинжилгээний бага хурал*

№24(15)
339

УЛААНБААТАР ХОТ
2024 он



ШИНЖЛЭХ УХААН ТЕХНОЛОГИЙН ИХ СУРГУУЛЬ
ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ СУРГУУЛЬ
ШУГАМ ХХК

ЭРДЭМ ШИНЖИЛГЭЭНИЙ
БҮТЭЭЛИЙН ЭМХЭТГЭЛ

№24(15)339

Улаанбаатар хот
2024 он

Бүтээлийн эмхэтгэл хянан магадалсан:

ЭХС-ийн захирал доктор (Ph.D), профессор Б.Бат-Эрдэнэ
Эрдэмтэн нарийн бичгийн дарга, доктор (Ph.D) Д.Үлэмж

Бакалавр оюутнуудын эрдэм шинжилгээний хурлын гишүүд:

Доктор (Ph.D), дэд профессор Бя.Бат-Эрдэнэ
Доктор (Ph.D), дэд профессор Б.Загдхорол
Доктор (Ph.D), дэд профессор М.Баттулга
Доктор (Ph.D) Н.Жигжидсүрэн
Доктор (Ph.D) О.Цогбаяр
Доктор (Ph.D) Д.Даваацэрэн
Доктор (Ph.D) Б.Баттөр
Доктор (Ph.D) Д.Чимэдсүрэн
Доктор (Ph.D) Э.Мөнхтуяа
Доктор (Ph.D) Г.Мөнгөншагай

Магистр оюутнуудын эрдэм шинжилгээний хурлын гишүүд:

Доктор (Ph.D) Д.Үлэмж
Доктор (Ph.D), профессор Б.Сэргэлэн
Доктор (Ph.D), дэд профессор Д.Цэрэндолгор
Доктор (Ph.D), дэд профессор Х.Сарангэрэл
Доктор (Ph.D) П.Бямбацогт

Эмхэтгэсэн: А.Амарзаяа

Хуудасны хэмжээ А4

Бодит хэвлэлийн хуудас: 15

Үсгийн гарнитур: Times New Roman

ГАРЧИГ

1-р хэсэг. Бакалавр оюутнуудын илтгэлүүд	
50 МВТ ПАРАБОЛ ТЭВШИН КОЛЛЕКТОРТОЙ НАРНЫ ДУЛААНЫ ЦАХИЛГААН СТАНЦЫН АЖИЛЛАГААНЫ ГҮЙЦЭТГЭЛ, ТЕХНИК-ЭДИЙН ЗАСГИЙН ҮЗҮҮЛЭЛТИЙН СУДАЛГАА Г.Бямбатулга, Ш.Энхбаяр	1-8
ДУЛААНЫ ПРОЦЕССЫН УДИРДЛАГЫН ОБЪЕКТЫН ТЕМПЕРАТУР ТОХИРУУЛГЫН ТУРШИЛТ, ХАРЬЦУУЛАЛТ Д.Буянбаатар, Б.Нарантуяа, Х.Цолмон	9-11
НАРНЫ ЗАЙН СИСТЕМИЙН БАТАРЕЙН УДИРДЛАГА, ХЯНАЛТ М.Хос-Эрдэнэ, Г.Мөнгөншагай	12-16
МОНГОЛЫН БИОМАССЫН ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ НӨӨЦИЙН СУДАЛГАА Э.Жавхлантагс, Г.Мөнгөншагай, Б.Тунгалагтамир, Э.Энхжин	17-21
ХОЁР ДАЛБАНТ БАГА ОВРЫН САЛХИН ТУРБИНЫ РИТЧН БОЛОН ҮАВ УДИРДЛАГЫН ЗАГВАРЧЛАЛ С.Маргад, Д.Мөнхцэцэг, Г.Оргил, А.Ариунболд, М.Нүүдэл	22-28
ЕСО TREE АВТОМАТ ЦЭНЭГЛЭЛТИЙН ЦЭГИЙН ХӨГЖҮҮЛЭЛТИЙН СУДАЛГАА Э. Төгөлдөр, М. Нүүдэл	29-35
МОНГОЛ УЛСЫН ЭХС-Д АШИГЛАГДАЖ БУЙ ШИЛЖИЛТИЙН ГОРИМЫН ХЯНАЛТ, МЭДЭЭЛЛИЙН СИСТЕМИЙН СУДАЛГАА Э.Золжаргал, Б.Энх-Амар, О.Мөнгөнбаяр, Б.Загдхорол, С.Адарсүрэн	36-39
REAL-TIME DIGITAL SIMULATOR(RTDS)-ИЙГ АШИГЛАН ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ СИСТЕМИЙГ ЗАГВАРЧЛАХ Б.Энх-Амар, Э.Золжаргал, О.Мөнгөнбаяр, С.Адарсүрэн, Б.Загдхорол	40-43
LORA МОДУЛЬ АШИГЛАН ТЕКСТ МЕССЕЖ ИЛГЭЭХ ТӨХӨӨРӨМЖИЙН ДИЗАЙН Т. Оюундэлгэр, Б. Төгстөгөлдөр, Л. Баянбулаг, Б. Энх-Амгалан	44-48
ӨНДӨР ХУРДАЙ ШУГАМ ДАГАГЧ РОБОТ ДЭЭРХ PID УДИРДЛАГЫН ХЭРЭГЖҮҮЛЭЛТ О.Батсуурь, Б.Энх-Амгалан	49-53
ТҮГЭЭХ СҮЛЖЭЭНД УРВУУ ХУГАЦААНЫ ХАРАКТЕРИСТИКТАЙ ГҮЙДЭЛ ИХСЭЛТИЙН ХАМГААЛАЛТЫГ АШИГЛАХ БОЛОМЖИЙН СУДАЛГАА Г.Нямдулам, М.Баттулга	54-59
ХӨДӨЛГӨӨНТ ОБЪЕКТЫГ ТАНИХ БА ТҮҮНИЙГ ДАГАХ МИНИ РОБОТ Ч.Амартүвшин, Л.Дэмбэрэлдодов, Б.Ганбат, А.Мөнх-Оргил	60-65
ТОСНЫ ХИЙН ХРОМОТОГРАФЫН ШИНЖИЛГЭЭНИЙ АРГААР ТРАНСФОРМАТОРЫН ГЭМТЛИЙГ ОНОШЛОХ Н.Бат-Оргил Төрбилэг, Л.Халиун, Ц.Эрдэнэтуяа	66-69
ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ ӨГӨГДЛИЙН САН БАЙГУУЛАХ, АНАЛИЗ ХИЙХ Э.Баярцэнгэл, Б.Өсөхсайхан, Т.Батгэрэл	70-74
БАТАРЕЙ ХЯНАХ СИСТЕМИЙН СУДАЛГАА Д.Төгсбаяр, Г.Оюунбат, Т.Батгэрэл	75-78

ЦАХИЛГААН ТООЛУУРЫН АШИГЛАЛТЫН СУДАЛГАА Б.Хувьтөгөлдөр, А.Ариунсолонго, Ө.Баярмаа	79-80
15В НАРНЫ ХАВТАН ДЭЭР ХИЙСЭН СУДАЛГАА, НАР ДАГАЖ ХӨДЛӨХ НАРНЫ ХАВТАНГИЙН АШИГТ БАЙДЛЫГ ХАРУУЛСАН ТУРШИЛТ Б.Чинзориг, Б.Хувьтөгөлдөр, А.Эрдэнэ	81-83
2-р хэсэг. Магистр оюутнуудын илтгэлүүд	
МОД ХАТААХ ҮЙЛДВЭРИЙН ТӨСӨЛ Х.Ангараг-Од, Х.Доржсамбуу, Д. Намнандорж, Э.Мөнхтэнгэр, П.Бямбацогт	84-88
ЧОЙБАЛСАН ХОТЫН ДУЛААНЫ ШУГАМЫН ГЭМТЛИЙН СУДАЛГАА П.Мөнхдэлгэр, П.Бямбацогт	89-93
ЭРДЭНЭТ ХОТЫН ГЭР ХОРООЛЛООС ҮҮДЭЛТЭЙ АГААРЫН БОХИРДОЛ БА БУУРУУЛАХ АРГА ЗАМ Г.Дүүрэнжаргал, Б.Намхайням, П.Бямбацогт	94-98
ЕСL – 210, RVD – 145 КОНТРОЛЛЕРУУДЫН ХАРЬЦУУЛСАН СУДАЛГАА Б.Аюурзана, О.Чимэд	99-102
ТЕРМОЭЛЕКТРИК МОДУЛЬТАЙ КАРНО БАТАРЕЙНЫ ТУРШИЛТЫН СУДАЛГАА О.Рэнцэнбат, М.Ганхүлэг	103-105
10 МВТ-ЫН НАРНЫ ЦАХИЛГААН СТАНЦЫН ЗУРАГ ТӨСӨЛ Б.Батдэлгэр, Б.Ганчимэг, П.Эрхэмтөр	106-112

1-р хэсэг

**БАКАЛАВР ОЮУТНУУДЫН
ИЛТГЭЛҮҮД**

50 МВТ ПАРАБОЛ ТЭВШИН КОЛЛЕКТОРТОЙ НАРНЫ ДУЛААНЫ ЦАХИЛГААН СТАНЦЫН АЖИЛЛАГААНЫ ГҮЙЦЭТГЭЛ, ТЕХНИК-ЭДИЙН ЗАСГИЙН ҮЗҮҮЛЭЛТИЙН СУДАЛГАА

Г.Бямбатулга¹, Ш.Энхбаяр^{1,2}

¹Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Дулааны инженерийн салбар

² Монгол улс, Улаанбаатар, Дулаан техник, үйлдвэрлэлийн экологийн хүрээлэн

*Холбогдох зохиогчийн и-мэйл хаяг: enkhbayar.sh@must.edu.mn

Хураангуй—Төвлөрүүлэгч технологитой нарны дулааны цахилгаан станц (НДЦС)-ууд нь Монгол улсын эрчим хүчний салбараас ялгарах хүлэмжийн хийг бууруулах, эрчим хүчний дутагдлыг нөхөхөд чухал үүрэг гүйцэтгэнэ. Манай улс цаашдаа гаднаас цахилгаан эрчим хүчээ худалдаж авах биш дотооддоо үйлдвэрлэж чадвал улс орны маань хөгжил илүү хурдацтай хөгжих болно. Дотооддоо цахилгаан эрчим хүчээ үйлдвэрлэхдээ нүүрсээр ажилладаг дулааны цахилгаан станцаас илүү нар, салхины цахилгаан станц байгуулах нь дэлхий нийтийн өмнө тулгамдсан хүлэмжийн хийн ялгарлыг бууруулах чухал шийдэл юм. Монгол орны хувьд өмнөд хэсгийн говь хээрийн бүс нарны эрчим хүчний нөөц ихтэй, нарны шууд цацраг өндөртэй бөгөөд олон жилийн дунджаас үзэхэд жилд хэвтээ гадаргууд тусах нарны цацрагийн нийт хэмжээ 1400-1500 кВт.ц/м²-аас дээш, нарны гийгүүлэх хугацаа 3100-3200 цаг байгаа нь манай орны говийн бүсэд өндөр чадлын НДЦС байгуулах технологийн боломжийг бүрдүүлж байна. Энэхүү өгүүлэлд Монгол орны цаг уурын нөхцөлд 50 МВт-ын чадалтай парабол тэвшин коллектортой НДЦС-ын ажиллагааны гүйцэтгэл, техник-эдийн засгийн үзүүлэлтүүдийн судалсан. Мөн парабол тэвшин коллектортой НДЦС нь бүрэлдэхүүн хэсгүүдийн хувьд технологи тус бүрийн тодорхойлолт, хэрэглэх боломж, давуу болон сул талуудыг харуулсан болно. Судалгааны үр дүнгээс харахад 50 МВт НДЦС-ын хувьд парабол тэвшин коллекторын хэлхээний тоо 152 ш, апертурын нийт талбай 797696 м² байна. 50 МВт парабол тэвшин коллектортой НДЦС нь жилд 203,974,992 кВт.ц/жил цахилгаан эрчим хүчийг үйлдвэрлэх ба хамгийн бага 1 кВт.ц цахилгааны эрчим хүчний тэгшитгэсэн өртөг нь 11.95 цент/кВт.ц байна.

Түлхүүр үг—Төвлөрүүлсэн нарны эрчим хүч; Техник-эдийн засгийн үзүүлэлт; Параболик тэвшин коллектор; System Advisor Model, IPSEpro, CO₂-ийн бууралт

I. УДИРТГАЛ

Дэлхий нийтэд хийсэн хүн амын өсөлтийн судалгаанаас үзэхэд 2023 онд дэлхийн хүн ам 8,045,311,447 байгаа нь 2023 оныхоос 2024 онд гэхэд 0,88%-иар өссөн байна. Ийнхүү судалгааны сүүлийн 5 жилийн хүн амын өсөлт дээр дүн шинжилгээ хийхэд цаашдаа ч улам өсөх төлөвтэй байгаа ба энэ нь эрчим хүчний салбараас ялгарах хүлэмжийн хийг нэмэгдүүлэхэд хүргэж байна [1]. Дэлхийн эрчим хүчний 2023 оны статистик тайлангаас харахад дэлхийн нийт хүлэмжийн хийн ялгаруулалт 53.8 Гтонн үүнээс нүүрсхүчлийн хийн ялгаруулалт 40.12 Гтонн байна [2]. Энэ нь хүлэмжийн хийн нийт ялгаруулалтын 74.4 хувийг нүүрстөрөгчийн хий дангаараа эзэлж байгаа ба одоогийн байдлаар CO₂ ялгаруулалтын 91 хувийг чулуужсан түлш эзэлж байгаа юм. Дэлхийн нийт CO₂ ялгаруулалтын 42 орчим хувь нь эрчим хүчний салбараас гарч байна.

Нарны дулааны цахилгаан станц нь цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэх үр дүнтэй, байгальд ээлтэй технологи бөгөөд коллекторын төрлөөр нь цамхагт (гелиостатын талбайн цуглуулагчтай), шугаман Фреснел (урт хавтангуудын иж бүрдэл маягийн), парабол-цилиндр (тэвшин) болон парабол таваг маягийн (дисш) гэж дөрөв ангилдаг [3], [4]. Эдгээрээс парабол тэвшин коллектор (ПТК)-той НДЦС нь АҮК өндөр байх ба үүлэрхэг өдрүүдэд ч эрчим хүч үйлдвэрлэх боломжтой байна. Шугаман системүүд нь коллекторуудын фокус шугамын дагуу нарны гэрлийг төвлөрүүлэхийн тулд шугаман

парабол төвлөрүүлэгчийг ашигладаг. Тавган ойлгогчтой стирлинг хөдөлгүүртэй нарны дулааны цахилгаан станцын системүүд нь цацрагийн ойролцоогоор 30%-ийг цахилгаан эрчим хүч болгон хувиргаснаар нарны эрчим хүч үйлдвэрлэхэд системүүдийн хамгийн өндөр үр ашигтай систем юм. НДЦС-ыг зарим хөдөө аж ахуйн бие даасан хэрэглэгч, усалгааны систем зэрэг олон тохиолдолд үр ашигтайгаар ашиглах боломжтой.

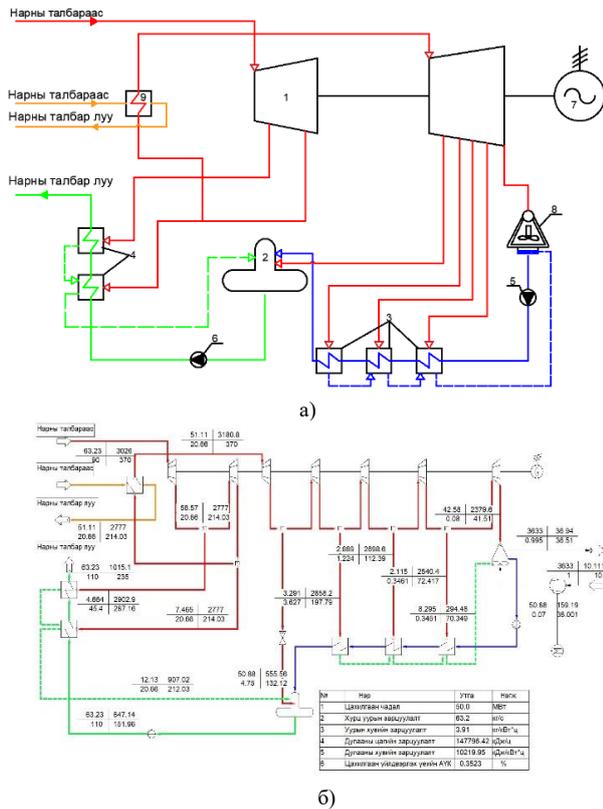
ДЦС-ын үндэс нь 380 гаруй жилийн өмнөөс тавигдсан гэж үздэг. Сүүлийн жилүүдэд парабол тэвшин коллектортой НДЦС -тай холбоотой судалгааны ажлууд эрчимтэй хийгдэж байгаа бөгөөд парабол тэвшин коллектортой НДЦС -ын ажиллагааны гүйцэтгэл техник-эдийн засгийн үзүүлэлтүүдийг сайжруулах [5], парабол тэвшин НДЦС -ын эдийн засгийн үр ашгийг дээшлүүлэх [6], НШЦ-ын өөр өөр утгад дулаан дамжуулах шингэний (ДДШ) судалгаа [7], ПТК-ын нарны оновчлол [8], нарны цацрагийг ойлгогч парабол толины загварчлал болон оновчлолын [9] талаар судалгааны ажлуудыг дэлхийн олон оронд хийсэн байна. Мөн төвлөрүүлсэн нарны дулааны эрчим хүчийг уламжлалт ДЦС-тай нэгтгэж, хослон ажиллуулснаар уламжлалт ДЦС-ын экологи, эдийн засгийн үзүүлэлтүүдийг дээшлүүлэх судалгааны ажлууд хийгдсэн байна [10].

Энэхүү өгүүлэлд 50 МВт чадалтай парабол тэвшин коллектортой НДЦС-ын ажиллагааны

гүйцэтгэл, техник-эдийн засгийн судалгааг Монгол орны эрс тэс цаг уурын нөхцөлд гүйцэтгэсэн.

II. СИСТЕМИЙН ТАЙЛБАР

50 МВт чадалтай парабол тэвшин коллектортой НДЦС-ын эрчим хүчний циклд 50 МВт чадалтай 90 бар даралттай, 370°C температуртай уураар ажилладаг нэг завсрын халаалттай уурын турбиныг ашиглахаар төлөвлөсөн. 50 МВт-ын чадалтай турбины дулааны зарчмын схемийг 1(а)-р зурагт үзүүлэв. 50 МВт-ын уурын турбины тэжээлийн ус халаах систем нь даралт буурах дарааллаар хоёр өндөр даралтын халаагуур (ӨДХ-1, ӨДХ-2), эхний цилиндрээс гарах уурыг дахин халаах завсрын уур халаагуур, деаэратор болон нам даралтын 3 халаагуураас (Деаэратор, НДХ-1, НДХ-2, НДХ-3) тус тус бүрдэнэ. Үйлдвэрлэгчийн техникийн тодорхойломжийн дагуу IPSEpro программ хангамж ашиглан боловсруулсан 50 МВт-ын уурын турбины дулааны зарчмын схемийн загварыг 1(б)-р зурагт үзүүлэв.



1-р зураг. 50 МВт-ын уурын турбины (а) процессийн схем ба (б) IPSEpro загвар

50 МВт-ын турбины дулааны зарчмын схемийн загварыг эхлээд үйлдвэрийн техникийн тодорхойломжийг ашиглан дизайны горимд загварчилсан ба дараа нь IPSEpro программ хангамж ашиглан боловсруулсан дулааны зарчмын схемийн загварын үр дүнг үйлдвэрлэгчийн техникийн тодорхойломжтой харьцуулж загварыг баталгаажуулсан. Үйлдвэрлэгчийн техникийн тодорхойломж болон дулааны зарчмын схемийн загварын үр дүнгийн харьцуулалтыг 1-р хүснэгтэд

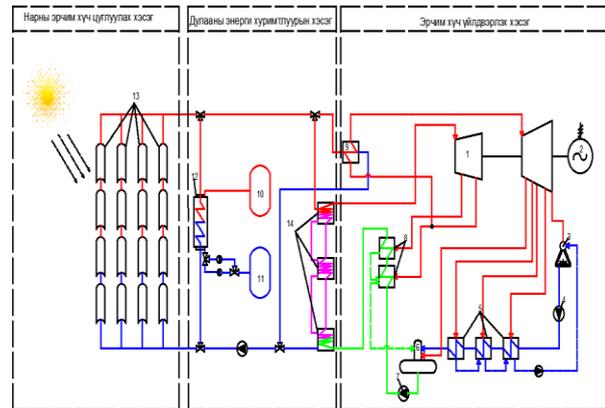
үзүүлсэн. 1-р хүснэгтээс харахад загварын харьцангуй алдааны хамгийн их утга 0.2% байгаа нь 50 МВт-ын уурын турбины дулааны зарчмын схемийн загвар үнэн зөв болсон тул, цаашид судалгаанд ашиглаж болох нь харагдаж байна.

50 МВТ УУРЫН ТУРБИНЫ ҮЙЛДВЭРИЙН ӨГӨГДӨЛ БОЛОН ЗАГВАРЧИЛСАН УТГЫН ҮНДСЭН ПАРАМЕТРУУДЫН ХАРЬЦУУЛАЛТ.

1-Р ХҮСНЭГТ.

Параметр	Нэгж	Үйлдвэрийн өгөгдөл	IPSEpro загвар	Харьцангуй алдаа
Хэвийн цахилгаан чадал	МВт	50	50	0
Хэт халсан уурын даралт	бар	90	90	0
Хэт халсан уурын температур	°C	370	370	0
Ажилсан уурын даралт	бар	0.08	0.08	0
Тэжээлийн усны температур	°C	235	235	0
Хэт халсан уурын зарцуулалт	кг/с	63.43	63.23	0.2
Уурын хувийн зарцуулалт	кг/кВт·ц	4.22	3.91	-0.31
Дулааны хувийн зарцуулалт	кДж/кВт·ц	10220	10220	0

Нарны шууд цацрагийн энергийг термодинамикийн буюу дулааны хөдөлгүүрийн аргаар хувирган, өөрөөр хэлбэл, эхлээд стандартын өндөр параметртэй дулааны энерги (давсны уусмалаас уур) гаргаж түүнийгээ ашиглан дулааны цахилгаан станцын зарчмаар цахилгаан энерги үйлдвэрлэх явдал юм. Ийм нарны эрчим хүчний төхөөрөмжийг парабол тэвшин коллектортой НДЦС гэж нэрлэдэг. Тус станц нь цахилгаан эрчим хүчийг үйлдвэрлэхийн тулд нарны эрчим хүч цуглуулах хэсэг, дулааны энерги хуримтлуулах хэсэг болон эрчим хүч үйлдвэрлэх хэсэг гэх үндсэн гурван хэсгээс бүрдэх бөгөөд дотор нь задалж авч үзвэл парабол хэлбэрийн толинууд, нарны эрчим хүч хүлээн авагч, халуун болон хүйтэн сав (дулааны энерги хуримтлуур-ДЭХ), уур үйлдвэрлэх дулаан солилцуур, уурын турбин, цахилгаан генератор гэсэн тоноглолуудаас тус тус бүрдсэн байна. (2-р зураг).



2-р зураг. 50 МВт парабол тэвшин коллектортой нарны дулааны цахилгаан станцын процессын схем. 1-уурын турбин; 2- уурын генератор; 3- агаарын хөргөлттэй конденсатор; 4- хувирсан усны насос; 5- нам даралтын халаагуур; 6- деаэратор; 7- тэжээлийн усны насос; 8- өндөр даралтын халаагуур; 9- завсрын уур халаагуур; 10- халуун ажлын бие нөөцлөх сав; 11- хүйтэн ажлын бие нөөцлөх сав; 12- уур үйлдвэрлэх дулаан солилиуур; 13- парабол хэлбэрийн нар ойлгогч 14-дулаан үйлдвэрлэх хэсэг.

Дэлхий дээр туршилт судалгааны зорилгоор хэрэгжүүлсэн хэд хэдэн парабол тэвшин коллектортой нарны дулааны цахилгаан станцууд ажиллаж байгаа ба одоогоор ажиллаж буй том чадлын парабол тэвшин коллектортой НДЦС-ын зарим техникийн үзүүлэлтүүдийг 2-р хүснэгтэд нэгтгэн харуулав [11].

ӨНДӨР ХҮЧИН ЧАДЛЫН НАРНЫ ДУЛААНЫ ЦАХИЛГААН СТАНЦУУД.

2-Р ХҮСНЭГТ.

Нэр	Нэгж	Delingha- 50MW CSP plant	Andasol 1 CSP plant	Urat - 100MW CSP plant	Ashalim Plot A/Negev Energy
Улс	-	Хятад	Испани	Хятад	Израил
Ашиглалтад оруулсан	он	2018	2008	2020	2019
Чадал	МВт	50	50	100	110
Талбайн хэмжээ	м ²	620000	510120	1150000	-
Төвлөрүүлэгч толны тоо	ш	27360	11230	350000	-
Анхны хөрөнгө оруулалт	сая ам доллар	292.07	530.90	421.98	1017.4
Ашиглалтын хугацаа	жил	20	25	20	25
Нарны эрчим	-	1950	2260	2170	2393
Жилд үйлдвэрлэх цахилгаан эрчим хүч	ГВт-ц/ жил	199	158	350	415
Турбины АҮК	%	40	38.1	39	39

III. СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

50 МВт чадалтай парабол тэвшин коллектортой НДЦС-ын судалгааг үйлдвэрлэгчийн тоног төхөөрөмжүүдийн техникийн үзүүлэлтүүд, бодит парабол тэвшин коллектортой НДЦС-ын ажиллагааны өгөгдлүүдийг ашиглан IPSEpro, SAM зэрэг программ хангамжуудын тусламжтай гүйцэтгэсэн. Энэхүү судалгаанд тоон загварчлал, техник-эдийн засаг болон системийн шинжилгээ зэрэг аргуудыг ашигласан ба загварт ашиглагдсан зарим тэгшитгэл, томъёонуудыг дараах байдлаар өгөв.

Дулаан дамжуулах шингэн (ДДШ)-ээс коллекторт шингэсэн дулааны хэмжээ:

$$q_{coll} = q_{DII} - q_{loss} \quad (1)$$

Энд: q_{DII} - Шууд цацраг туяанаас (DII) ПТК-ийн шингээсэн дулаан (кВт); q_{loss} - ПТК-ийн оптик ба дулааны алдагдал, үүнд дамжуулах хоолойн дулааны алдагдал (кВт).

Нэг парабол тэвшин коллекторын апертурын талбай, (м²)

$$A_{coll} = \eta_{aperture} \cdot A_{coll0} \quad (2)$$

Энд: $\eta_{aperture}$ -толны тусгалын фокусын АҮК; A_{coll0} - нь нэг парабол тэвш нэгжийн физик нүхний талбай (Eurotrough-150 коллекторын хувьд: $A_{coll0} = 817.5 \text{ м}^2$) Апертурын нийт талбай, (м²).

$$A_{SF} = A_{PTC} \cdot N_{coll} \cdot N_{loops} \quad (3)$$

Энд: A_{PTC} - парабол тэвшин коллектор нийт талбай; N_{coll} -нэг хэлхээ буюу нэг эгнээд байрлах ПТК-ын тоо; N_{loops} -нэг хэлхээний тоо.

Нарны цацрагаар терминол VP-1 шингэнийг халаахад зарцуулагдсан дулаан дулаан

$$Q_{coll} = DII \cdot A_{coll} \quad (4)$$

Нарны талбайн дулааны АҮК:

$$\eta_{SF} = \frac{m_{HTF} \cdot (h_{HTF}^{out} - h_{HTF}^{in})}{DNI \cdot A_{SF}} \quad (5)$$

Энд: m_{HTF} - дулаан дамжуулах шингэний массын урсгалын хурд, (кг/с); h_{HTF}^{out} болон h_{HTF}^{in} хүлээн авагчийн гаралт ба оролт дээрх ДДШ-ий хувийн энтальпи (кДж/кг) байна.

Эрчим хүчний блокийн дулааны АҮК дараах тэгшитгэлээр тодорхойлж болно.

$$\eta_{PB} = \frac{W}{Q} \cdot 100; (\%) \quad (6)$$

Энд: W- нарны дулааны цахилгаан станцын эрчим хүчний гаралт (кВт); Q- уураар хангагдсан дулааны хэмжээ (кВт).

Уурын хувийн зарцуулалтыг дараах тэгшитгэлээр тодорхойлж болно.

$$m = \frac{m_0}{W}; \left(\frac{\text{кг}}{\text{кВт}} \cdot \text{ц} \right) \quad (7)$$

Энд: m_0 - үндсэн уурын массын зарцуулалт (кг/с).

Дулааны хувийн зарцуулалтыг дараах томъёогоор тодорхойлж болно.

$$q = \frac{Q}{W}; \left(\frac{\text{кЖ}}{\text{кВт}} \cdot \text{ц} \right) \quad (8)$$

Нарны дулааны цахилгаан станцын ерөнхий АҮК:

$$\eta = \eta_{SF} \cdot \eta_{PB} \cdot \eta_{aux} \cdot \eta_{avia}; \% \quad (9)$$

Энд; η_{aux} -туслах тоноглолын АҮК (96-99)% хооронд сонгож авдаг; η_{avia} -дулаан хуримтлуурын АҮК (93-98)% хооронд тус тус авч болно.

Дулаан дамжуулагч шингэн нь нарны цацрагийн дулааны шингээж ЦЭХ үйлдвэрлэхэд чухал үүрэг гүйцэтгэдэг. Энэхүү судалгаанд Терминол VP-1 маркийн шингэнийг ажлын бие болгон ашигласан бөгөөд тус шингэн нь буцлах чадвар сайтай бөгөөд өндөр температурыг гарган авахын тулд ДДШ болгон сонгосон.

1013 милбар даралттай үед 257°C орчим температуртай болдог. Терминол VP-1 шингэнийг 400°C температуртай болгож ашиглаж байна. Терминол VP-1 шингэн нь НДЦС-ын хэрэглээнд өргөн хэрэглэгддэг синтетик холимог тос юм. Терминолын температурын функц болох термо-физик шинж чанаруудын хамаарлыг 10-р томъёонд үзүүлэв.[12]

$$\left\{ \begin{array}{l} C_p = 2.82 \cdot T + 716; \\ \lambda = 1.73 \cdot 10^{-7} \cdot T^2 + 7.62 \cdot 10^{-6} \cdot T + 0.14; \\ \rho = -7.61 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 2.24 \cdot 10^{-1} \cdot T + 1191; \\ \mu = (-23 \cdot 10^{-5} \cdot T^3 + 5.61 \cdot 10 - 3 \cdot T^2 - 19.89 \cdot T + 1822)^{-1} \end{array} \right.$$

ДЭХ нь парабол тэвшин коллектортой НДЦС-ын гол элементүүдийн нэг бөгөөд халуун ба хүйтэн бакнаас тус тус бүрдэх ба тэдгээрийн массын ба дулааны баланс нь ижил учир халуун бакны тэгшитгэлийг үзүүлэв.

Халуун савны дулааны энергийн алдагдал:

$$q_{алд}^{х.сав} = U \cdot A_{х.сав} \cdot (t_{х.сав} - t_{алд}) \quad (11)$$

Энд: U - дулаан дамжуулалтын коэффициент; $A_{х.сав}$ халуун бакны дулаан дамжуулах талбай; $t_{х.сав}$ - халуун бакны температур.

SAM программ ашиглан боловсруулсан 50 МВт ПТК-той НДЦС-ыг загварчлах хялбаршуулсан схемийг 3-р зурагт үзүүлэв.

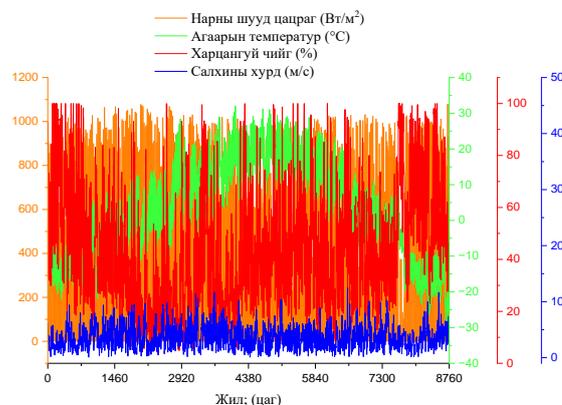


3-р зураг. Парабол тэвшин коллектортой НДЦС-ыг загварчлах хялбаршуулсан схем.

IV. ҮР ДҮН БА ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

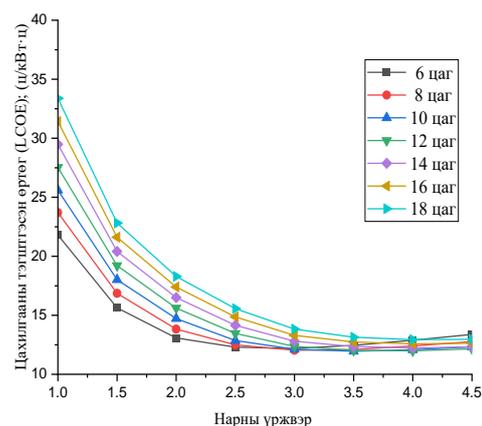
Аливаа НДЦС-ын төслийг хэрэгжүүлэхийн тулд сонгосон байршлын нарны шууд цацраг, цаг агаарын өгөгдөлд дүн шинжилгээ хийх нь чухал юм. Дэлхийн газрын гадаргууд тусах нарны цацраг ба нарны гийгүүлэлтийн үргэлжлэлээс харахад дэлхийд тусах нарны цацрагийн хамгийн их урсгал нь Өмнөд Африкийн урд ба хойд зүгийн нутаг, Сахарын цөл, Арабын зарим арлууд, Өмнөд Америкийн төв хэсэг, Австрали тивийн төв хэсэгт байна. Харин монгол орны хувьд урд хэсгээрээ болон говын бүс хэсгээр нарны цацраг өндөртэй. 50 МВт-ын парабол тэвшин коллектортой НДЦС-ын байгуулахаар сонгосон байршил (45.3610°N-ийн өргөрөг, 104.2550°E-ийн уртраг) нь Монгол орны хамгийн их нарны цацрагийн нөөцтэй газруудын нэг болох Даланзадгад хот юм. НШЦ-ийн дизайны цэгийн утгыг 900 Вт/м² гэж тодорхойлсон. Сонгосон байршлын нарны болон цаг агаарын өгөгдлийн

жилийн өөрчлөлтийг (НШЦ, агаарын температур, харьцангуй чийгшил, салхины хурд) 4-р зурагт үзүүлэв.



4-р зураг. Даланзадгад хотын нарны болон цаг агаарын өгөгдөл.

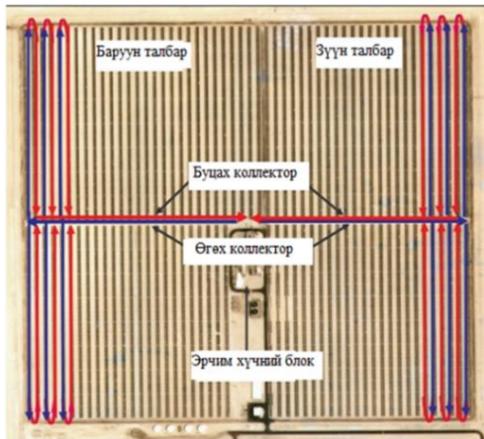
Парабол тэвшин коллектортой НДЦС-ын үйлдвэрлэсэн цахилгаан эрчим хүч (ЦЭХ) нь тухайн системийн гол үзүүлэлт бөгөөд энэ нь нарны үржвэр (НҮ) болон ДЭХ-ын ажлын цаг ихсэхийн хэрээр нэмэгддэг байна. Гэвч нарны талбарын хэмжээг илэрхийлэх нарны үржвэр ихэссэнээс хөрөнгө оруулалтын зардал нэмэгдэж, улмаар эдийн засгийн үр ашгийг бууруулдаг. Иймд нарны үржвэрийн буюу нарны талбарын оновчлол нь цаг уурын ямар ч нөхцөлд парабол тэвшин коллектортой НДЦС-ыг хэвийн найдвартай, үр ашигтай ажиллуулахад чухал нөхцөл болдог. 5-р зурагт цахилгаан энергийн тэгшитгэсэн өртөг (ЦЭТӨ-LCOE) нарны үржвэр болон ДЭХ-ын ажлын цагаас хамаарах хамаарлыг үзүүлэв. 5-р зургаас харахад НҮ болон ДЭХ-ын ажлын цаг бага ойролцоогоор 11.95 цент/кВт·ц байна.



5-р зураг. Цахилгаан энергийн тэгшитгэсэн өртөг нарны үржвэр болон ДЭХ-ын ажлын цагаас хамаарах хамаарал.

6-р зурагт 50 МВт парабол тэвшин коллектортой НДЦС-ын бүдүүвчийг дүрслэв. Үр дүнгээс харахад нэг хэлхээ нь 5248 м² урттай нийт 152 ш хэлхээтэй

79766 м² апертурын талбайд дараах бүдүүвчийн дагуу байрлахаар байна.



6-р зураг. 50 МВт ПТКНДЦС-ын нарны талбарын бүдүүвч.

Парабол тэвшин коллектор нь нэг хэмжээст толь эсвэл цацруулагч хальсаар бүрхэгдсэн парабол хэлбэрийн бүтэц бөгөөд нарнаас ирж буй цацрагийг фокусын шугам руугаа тусгадаг [13]. Түүний гол шугам дээр нарны цацрагийг өндөр шингээгч, бага дулаан ялгаруулдаг материалаар бүрсэн шилэн хаалттай металл хоолой хүлээн авагч байдаг. Хүлээн авагчийн хоолой нь дулаан дамжуулах шингэнийг агуулдаг бөгөөд энэ нь өөр өөр хэрэглээнд өөр өөр байдаг. Параболик тэвш цуглуулагчид нарыг бүтэн өдрийн турш хянахын тулд нарны талбайд параллель байрлуулсан байна.

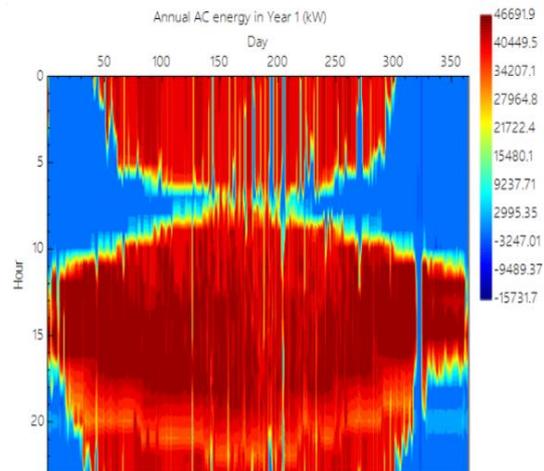
50 МВТ ПАРАБОЛ ТЭВШИН КОЛЛЕКТОРТОЙ НАРНЫ ДУЛААНЫ ЦАХИЛГААН СТАНЦИЙН ТЕХНИК-ЭДИЙН ЗАСГИЙН ЗАРИМ ҮЗҮҮЛЭЛТҮҮД.

3-р ХҮСНЭГТ.

№	Тэмдэглэгээ	Нэгж	Утга
1	Жилд үйлдвэрлэсэн цахилгаан эрчим хүч	кВт·ц	203,974,998
2	Хүчин чадлын ашиглалт	%	51.74
3	Жилд хэрэглэх усны хэрэглээ	м ³	57976.6
4	Жилийн хөлдөлтөөс хамгаалах	кВт·ц	1355161
5	Жилийн Талбайн хөлдөлтөөс Хамгаалах	кВт·ц	343112
6	Ашиглалтын хугацаа	ж	30
7	Анхны хөрөнгө оруулалт	ам.долл ар	430,320,256
8	Нэг кВт цахилгааны тэгшитгэсэн өртөг	цент/кВт*ц	11,97

7-р зурагт 50 МВт чадалтай парабол тэвшин коллектортой НДЦС-ын жилд үйлдвэрлэж, сүлжээнд нийлүүлэх ЦЭХ-ний хэмжээг харуулав. Тооцооллын үр дүнгээс харахад 50 МВт парабол тэвшин коллектортой НДЦС нь жилд 203,974,992 кВт·ц ЦЭХ сүлжээнд нийлүүлэх боломжтой ба жилийн X-р сараас I-р сарын хооронд хамгийн бага буюу нэг сард дунджаар 1,012,049 кВт·ц ЦЭХ-ийг сүлжээнд нийлүүлэх боломжтой байна. Энэ нь НШЦ, нарны тусгалын өнцөг, нарны гийгүүлэлтийн

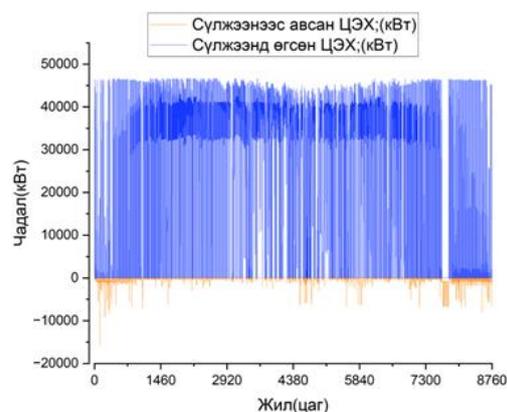
хугацаа болон цаг уурын нөхцөл зэргээс хамаарч байна.



7-р зураг жилд үйлдвэрлэсэн цахилгаан эрчим хүч.

Парабол тэвшин коллектортой НДЦС нь эрчим хүчний системд ЦЭХ нийлүүлэхээс гадна, шаардлагатай үед өөрийн технологийн хэрэгцээнд цахилгаан системээс ЦЭХ авдаг байна. Өөрөөр хэлбэл наргүй үед болон шөнийн цагт ДДШ-ийн температур эсвэл урсгалын хурдыг хадгалахын тулд ажилладаг насос, халаагч мөн бусад тоног төхөөрөмжийн цахилгаан энергийн зарцуулалт байдаг.

8-р зурагт 50 МВт НДЦС-ын системд нийлүүлсэн болон системээс авсан цахилгаан чадлыг жилээр үзүүлэв. 8-р зургаас харахад X-өөс II-р сарын хооронд үйлдвэрлэсэн болон сүлжээнээс авсан цахилгаан чадал нь ихээхэн хэлбэлзэлтэй байгаа нь тухайн саруудад манай орны улирлаас хамааралтай нарны тусгалын өнцөг их, нарны гийгүүлэлтийн хугацаа бага байдагтай холбоотой юм. Харин III-р сараас VIII-р сард парабол тэвшин коллектортой НДЦС-ын үйлдвэрлэсэн цахилгаан чадлын хэлбэлзэл бага, ойролцоогоор 40000-50000 кВт-ын хооронд байгаа ба НШЦ болон нарны гийгүүлэлтийн хугацаа их учир дараа өдрийн нар гарах хүртэл цахилгаан үйлдвэрлэл нь тогтвортой байна.

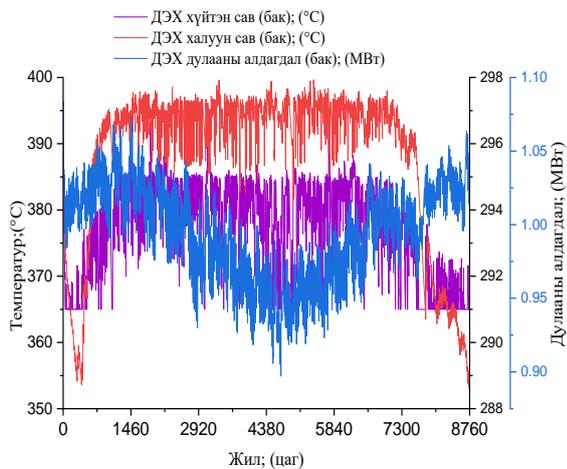


8-р зураг. Станцаас жилд сүлжээнд нийлүүлсэн болон сүлжээнээс авсан цахилгаан чадал.

Парабол гадаргуугийн толинууд нь нэг тэнхлэг бүхий тэвшний гадаргуугаар тархаж байрлана. Тэвшний тэнхлэгийн дагуу дулаан зөөгч шингэнийг халаах хоолойг байрлуулах ба хоолой дээр фокуслагдсан нарны цацраг тусахад доторх шингэн нь халж дулаан зөөгч бие эргэлтэн д орно. Парабол тэвшин толины систем нь шингэнийг халаах хоолой дээр нарны туяа ямагт тусч байхаар фокуслаж, нарыг дагаж хөдөлнө.

50 МВт парабол тэвшин коллектортой НДЦС нь Терминол VP-1-ийг ДДШ болгон ашиглахаар төлөвлөсөн ба тус ажлын бие нь температурын тодорхой хязгаарт ажиллана. ДЭХ-ын хүйтэн савнаас 293°C гарч нарны нэмэлт халаагууруудаар халаагдана 391°C хүртэл халаагдана. Халаагдсан ДДШ-ий тодорхой хэсэг нь эрчим хүч үйлдвэрлэх хэсэг рүү явж уур үйлдвэрлэх дулаан солилцооны төхөөрөмж рүү орж турбиныг тэжээх хэт халсан уурыг үйлдвэрлэдэг бол нөгөө хэсэг нь ДЭХ-ын халуун сав руу орно.

9-р зурагт нэг ДЭХ-ын халуун ба хүйтэн саван дахь ДДШ-ий оролт гаралтын температур болон ДЭХ-ын дулааны алдагдлын жилийн өөрчлөлтийг тус тус харуулав. 9- р зургаас харахад өвлийн улиралд дулааны алдагдал нь гадна агаарын температураас хамаарч өндөр (1.09 МВт) байна.

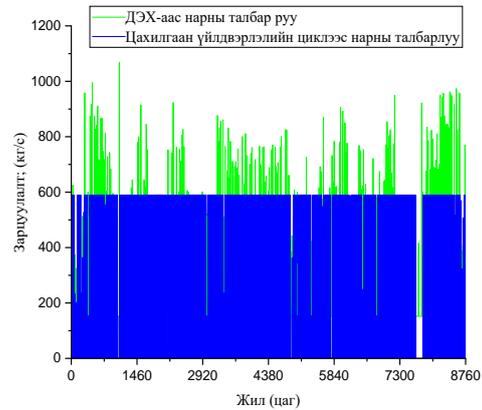


9-р зураг. ДЭХ дахь ДДШ-ий ажлын температур ба ДЭХ-ын дулааны алдагдлыг жилийн өөрчлөлт

10-р зурагт ДЭХ-аас нарны талбар луу өгөгдөх болон эрчим хүч үйлдвэрлэх хэсгээс нарны талбар луу өгөгдөх ДДШ-ний зарцуулалтын жилийн өөрчлөлтийг харуулав. Эрчим хүч үйлдвэрлэх хэсгийн чадлаас хамаарч ДДШ нь 589.92 кг/с зарцуулалттайгаар нарны талбар өгөгдөж байна. Харин ДЭХ-аас нарны талбар луу өгөгдөх ДДШ-ий зарцуулалт хамгийн их үедээ 1072.56 кг/с байна.

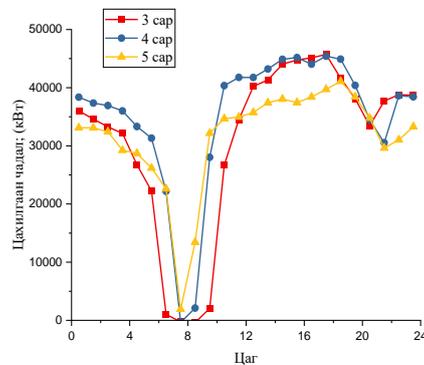
11-р зурагт 50 МВт парабол тэвшин коллектортой НДЦС-ын үйлдвэрлэсэн цахилгаан чадлыг улирал бүрээр сарын дунджаар 24 цагаар үзүүлэв. Монгол орны хувьд нарны гийгүүлэгчийн бодит үргэлжлэх хугацаа зуны улиралд хамгийн их утга ялангуяа говийн нутагт сард 280-320 цаг,

хамгийн бага утга хойд талын нутгаар сард 210-285 цаг хүрдэг байна.

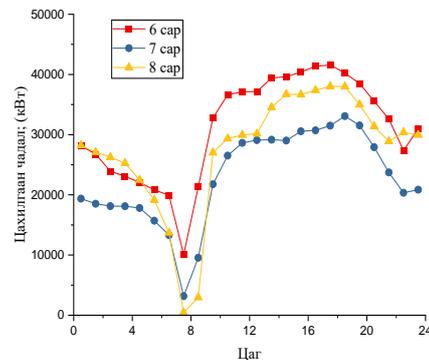


10-р зураг. Дулаан дамжуулах шингэний зарцуулалт.

Хавар болон зуны улиралд нарны тусгалын цаг урт байдаг учир станц нь удаан хугацаагаар бүр зарим үед зогсолтгүй ажиллах боломжтой байна. Энэ нь мөн ДЭХ-ын цагаас ихээхэн хамаарч зогсолтгүй ажиллах нөхцөлийг бүрдүүлж байгаа юм. Харин намар болон өвлийн улиралд зогсолттой ажиллаж зарим өдөр (7-8) цаг нь зогсолтын байдалд ажилласан байна. Хэдий ДЭХ-аас дулаан солилцуурт дулааны энерги өгч байгаа хэдий ч ДЭХ-ын хугацаа нь цахилгаан үйлдвэрлэлийг зогсолтгүй хангаж чадахгүй байгаа учир зарим цагт зогсолт үүсгэж байгаа юм.

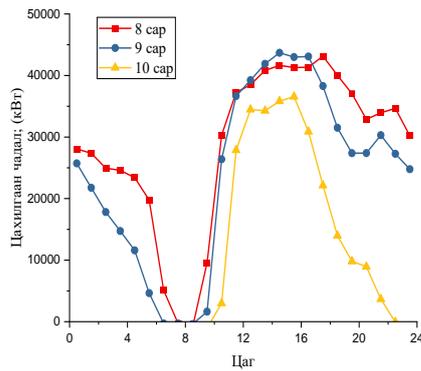


а)

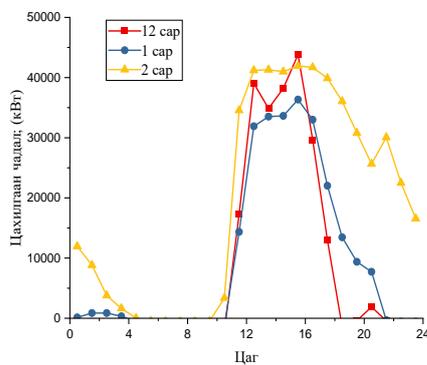


б)

V. ДҮГНЭЛТ



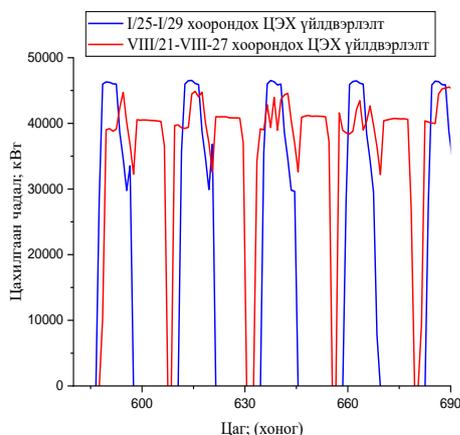
в)



г)

11-р зураг. 50 МВт НДЦС-ын улирал бүрийн үйлдвэрлэсэн ЦЭХ (сарын дундаж). а- хавар, б- зун, в- намар, г- өвөл.

12-р зурагт өвөл болон зуны улирлыг төлөөлөх дараалалсан 5 хоногийг сонгон авч 50 МВт НДЦС-ын цахилгаан эрчим хүчний үйлдвэрлэлийн динамикийн харьцуулан харуулав. Зуны улиралд тогтмол нэг хоногт өдрийн 12 цагт нь 16-44 МВт ажиллаж харин үлдсэн цагт нь зогсдог бол өвлийн улиралд хоногийн 12 цагийн 7 цагт нь 13-46 МВт чадлыг үйлдвэрлэж үлдсэн цагт нь зогсож байна.



12-р зураг. Өвөл болон зуны улирлын дараалсан таван өдрийн ЦЭХ-ны үйлдвэрлэлийн динамик.

Энэхүү өгүүлэлд Өмнөговь аймгийн Даланзадгад хотын цаг уурын нөхцөлд 50 МВт парабол тэвшин коллектортой НДЦС-ын ажиллагааны гүйцэтгэл, техник-эдийн засгийн үзүүлэлтүүдийн судалгааг гүйцэтгэв.

Тооцооллын үр дүнгээс харахад парабол тэвшин коллектортой НДЦС нь цахилгаан эрчим хүчний дотоод хэрэглээ өндөр, мөн АҮК бага боловч уламжлалт ДЦС-тай харьцуулахад эрчим хүч үйлдвэрлэх явцад үүсдэг агаарын бохирдол, усны бохирдол, нүүрстөрөгчийн хийн ялгаруулалт байхгүй тул хүрээлэн буй орчинд ээлтэй технологи юм.

Парабол тэвшин коллектортой НДЦС нь нартай үед цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэдэг тул жилийн 4 улиралтай, эрс тэс уур амьсгалтай манай орны хувьд парабол тэвшин коллектортой НДЦС-ын ДЭХ-ын ашиглалтын цагийг өндрөөр тооцох шаардлагатай юм. Энэхүү судалгаанд ДЭХ-ын ашиглалтын цагийг 10 цаг байхаар тооцоолсон бөгөөд нарны үржвэр 3.5 байх нөхцөлд 50 МВт парабол тэвшин коллектортой НДЦС-ын ажиллагааны гүйцэтгэл, техник-эдийн засгийн үзүүлэлтүүдийн тооцооллыг гүйцэтгэхэд нарны апертурын талбарын хэмжээ 797696 м², мөн хэлхээний тоо 152 эгнээ бөгөөд анхны хөрөнгө оруулалт 430,320,256 ам.доллар байв. Тус станцын ерөнхий АҮК нь 21% гарсан тул парабол тэвшин коллектортой НДЦС-ын хувьд үр ашиг өндөртэй харагдаж байна.

Үр дүнгээс харахад 50 МВт НДЦС-ын жилд 203,974,998 кВт-ц цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэх боломжтой байна. Мөн тус хамгийн бага цахилгаан эрчим хүчний тэгшитгэсэн өртөг 11.97 цент/кВт-ц байгаа нь энэ төсөл эдийн засгийн хувьд сонирхол татахуйц байна.

Цаашдаа бид энэхүү судалгааны ажлаа үргэлжлүүлэн эдийн засгийн нарийвчилсан тооцооллыг хийж гүйцэтгэхээр төлөвлөж байна.

ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааны ажлыг удирдсан ЭХС-ийн Дулааны инженерийн салбарын багш доктор (Ph.D.) Ш.Энхбаярт талархал илэрхийлье. Энэхүү судалгааны ажлыг ЭХС-ийн ДИС-ын “Дулааны цахилгаан станцын симулятор лаборатори”-т хийж гүйцэтгэв.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

- [1] www.worldometers.info
- [2] European commission, “Global CO2 emissions rebound”, EU Science Hub, 2023.
- [3] С.Батмөнх, “Монголын нөхцөлд нарны энергийг дулаанд хувиргах технологийн онол, практикийн үндэс” Соёмбо принтинг, Улаанбаатар хот, 2014 он.
- [4] Х.Энхжаргал, “Нарны эрчим хүч”, Улаанбаатар хот, 2022 он.
- [5] M.J. Montes , A. Abanades b , J.M. Martınez-Val b , M. Valde´s b “Solar multiple optimization for a solar-only thermal power plant, using oil as heat transfer fluid in the parabolic trough collectors”2009.

- [6] Enkhbayar Shagdar , Bachirou Guene Lougou, Batmunkh Sereeter , Yong Shuai , Azeem Mustafa , Enkhjin Ganbold and Dongmei Han “Performance Analysis of the 50 MW Concentrating Solar Power Plant under Various Operation Conditions”,2022
- [7] Krishna, Y.; Faizal, M.; Saidur, R.; Ng, K.C.; Aslfattahi, N. State-of-the-art heat transfer fluids for parabolic trough collector. *Int. J. Heat Mass Transf.* 2020, 152, 119541.
- [8] Simulation and Performance Evaluation of Parabolic Trough Solar Power Plants.
- [9] Hanane Ait Lahoussine Ouali, Ahmed Alami Merrouni, Shahariar Chowdhury , Kuaanan Techato , Sittiporn Channumsin, and Nasim Ullah “Optimization and Techno-Economic Appraisal of Parabolic Trough Solar Power Plant under Different Scenarios: A Case Study of Morocco”.
- [10] Enkhbayar Shagdar, Bachirou Guene Lougou, Yong Shuaia, Junaid Aneesb, Chimedsuren Damdinsurenc, Heping Tana,” Performance analysis and techno-economic evaluation of 300 MW solar assisted power generation system in the whole operation conditions.
- [11] Krishna, Y.; Faizal, M.; Saidur, R.; Ng, K.C.; Aslfattahi, N. State-of-the-art heat transfer fluids for parabolic trough collector. *Int. J. Heat Mass Transf.* 2020, 152, 119541. [CrossRef].
- [12] [Parabolic Trough | Concentrating Solar Power Projects | NREL](#)
- [13] J. Spelling, A. Gallo, M. Romero, and J. González-Aguilar, "A high-efficiency solar thermal power plant using a dense particle suspension as the heat transfer fluid," *Energy Procedia*, vol. 69, pp. 1160-1170, 2015.
- [14] Shagdar, E.; Shuai, Y.; Lougou, B.G.; Mustafa, A.; Choidorj, D.; Tan, H. New integration mechanism of solar energy into 300 MW coal-fired power plant: Performance and techno-economic analysis. *Energy* 2021, 238, 122005.
- [15] Shagdar, E.; Shuai, Y.; Lougou, B.G.; Ganbold, E.; Chinonso, O.P.; Tan, H. Analysis of heat flow diagram of small-scale power generation system: Innovative approaches for improving techno-economic and ecological indices. *Sci. China Technol. Sci.* 2020, 63, 2256–2274.
- [16] M.J. Montes, A. Abanades, J.M. Martinez-Val, M. Valdes; Solar multiple optimization for a solar-only thermal power plant, using oil as heat transfer fluid in the parabolic trough collectors.

ДУЛААНЫ ПРОЦЕССЫН УДИРДЛАГЫН ОБЪЕКТЫН ТЕМПЕРАТУР ТОХИРУУЛГЫН ТУРШИЛТ, ХАРЬЦУУЛАЛТ

Д.Буянбаатар¹, Б.Нарантуяа¹, Х.Цолмон¹, Л.Атарцэцэг¹

¹Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Дулааны процессын автоматжуулалт

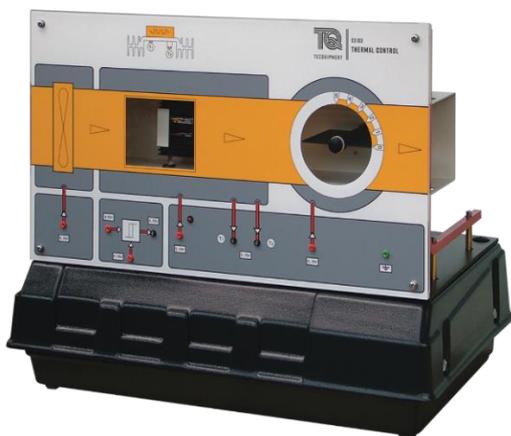
*Холбогдох зохиогчийн и-мэйл хаяг: buyahero3@gmail.com

Хураангуй— Энэ өгүүллээр Англи улсын TecQuipment Ltd компанид үйлдвэрлэсэн CE103 объект дээр CE2000 программ хангамжийн тусламжтайгаар объектын оролт гаралтын параметруудийн зүгшрүүлэлт тохируулга хийв. Туршилтыг хэд хэдэн нөхцөлд тохируулга хийсэн ба үр дүнг MATLAB-Simulink дээр харьцуулсан судалгааг хийж үзүүлэв.

Түлхүүр үг— Технологийн процесс, дамжуулалтын функц, оролт дохио, гаралтын дохио, оновчтой утга

I. УДИРТАЛ

Технологийн процесст автомат тохируулгын системийг ашигласнаар нь хөдөлмөрийг хөнгөвчлөх, удирдлагын аюулгүй ажиллагааг хангах, түүхий эдийг хэмнэх, гаралтын бүтээгдэхүүний чанарыг дээшлүүлэх, гаралтын параметрийг оновчтой утганд эсвэл тодорхой хязгаарт тохируулж байх зорилгуудыг биелүүлдэг. Туршилтын төхөөрөмжүүдэд CE103 Дулааны процессын удирдлагын объект, CE120 аналог дижитал контроллер, [1] CE2000 хяналт удирдлагын программ хангамж [2] тус тус орно. Удирдлагын объект болох TecQuipment компанийн CE103 Дулааны процессын удирдлагын объект нь автомат удирдлагын үндсэн болон ахисан түвшний тохируулгын зарчмуудыг сургалт, практик судалгаанд тусгайлан зориулж загварчилсан туршилтын төхөөрөмж юм. CE103 нь гадны аналог, дижитал эсвэл бусад стандарт үйлдвэрийн удирдлагын төхөөрөмжүүдтэй нийцж ажиллахаар загварчлагдсан байдаг. [3] Зураг 1-д дулааны процессын удирдлагын объектыг үзүүлэв.



1-р зураг. CE103 Дулааны процесс удирдлагын объект [4]

CE103 объект нь CE120 контроллертой холбогдож тасралтгүй болон тоон сигналаар оролт гаралтын үйлчлэлийг хангаж ажиллах ба дараах хүснэгт 1-д үзүүлэв.

ОРОЛТ ГАРАЛТЫН ДОХИОНЫ ТӨРӨЛ

1-Р ХҮСНЭГТ

Оролтын дохионы төрөл	Тоон сигнал, мВ	Гаралтын дохионы төрөл	Тоон сигнал, мВ
Сэнсний эргэлтийн хурд	0-10	Халаагуурын 1 байрлалын температур	0-10
Халаагуурын оролтын хүчдэл	0-10	Халаагуурын 2 байрлалын температур	0-10
Хаалтны байрлал	0-10		

Объектын халаагуурын оролт руу температурын даалгаврын утгад харгалзах сигнал CE2000 программаас өгөхөд халаагуур ажиллаж эхлэх ба энэ үеийн шилжилтийн тодорхойломжийг гаргаж зураг 5-д үзүүлэв. Сэнсний эргэлтийн хурдаар температурын тодорхой утгад хүрэх үйлчлэлийг үзүүлнэ.

Туршилт 1.

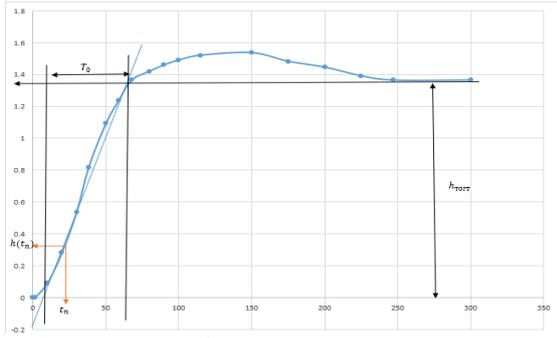
Туршилтын ажлын зорилго нь CE103 дулааны процесс удирдлагын объектын өөрийн анхны төлөв байдлын дамжуулалтын функцийг тодорхойлох, шилжилтийн тодорхойломжийг гаргаж авахад оршино.

Зураг 3-д үзүүлсэн холболтоор CE2000 программ хангамжид бүтцийн схемийг зохиож CE103 объектын дамжуулалтын функцийг гаргаж авна. Дамжуулалтын функцийг дараах хэлбэрээр сонгоно:

$$W_{об(p)} = \frac{k_{\mu}}{(T_{a1}p + 1)(T_{a2}p + 1)^n}$$

Энд: n=1,2,3,4

Энэ илэрхийллийн аппроксимацийн дүнд k_{μ}, T_{a1}, T_{a2} , n-коэффициентуудын утгуудыг тодорхойлох юм. Үүний тулд адилтган ойртуулах шинжүүрийн үүргээр жинхэнэ ба аппроксимацигдах хамаарлуудын $t=0, t=\infty$ үеийн мөн аппроксимацигдах муруйн нугаралтын цэг дээрх хугацааны нэгдүгээр уламжлалуудын утгын давхцыг ашигладаг. Үүнийг зураг 1.2-аас харж болно.



2-р зураг. Анхны ба аппроксимацилах шилжэлтийн тодорхойлолж

Энд: $h_{тогт}$ ба $k_{\mu}=1.36$, $h(t_n)=0.39$, гэдгээс “в” хэмжигдэхүүнийг олно.

$$v = \frac{h_{тогт}}{k_{\mu}}$$

n-ын утгыг сонгохдоо дээр тодорхойлсон “в” хэмжигдэхүүний утгаас хамаарсан нөхцөлийг сонгоно. Үүнд:

Хэмжигдэхүүн $v < 0.265$ нөхцөлийн үед $n=1$ байна. Хэрэв энэ нөхцөлийг хангахгүй бол $n > 1$ нөхцөлийг сонгох ба хэмжигдэхүүн “в” 0,371 утгаас ($n=4$) илүүгүй байна. Хэмжигдэхүүн “в” ба n-ийн утгыг ашиглан номограммас T_{a1}/T_0 ; T_{a2}/T_{a1} ба $t_{па}/T_{a1}$ харьцаануудыг тодорхойлно. [4]

НОМОГРАММААС ТОДОРХОЙЛСОН УТГУУД

2-р ХҮСНЭГТ

T_{a1}, c	T_{a2}, c	$t_{па}, c$	n
24.3	9.06	23.7	2

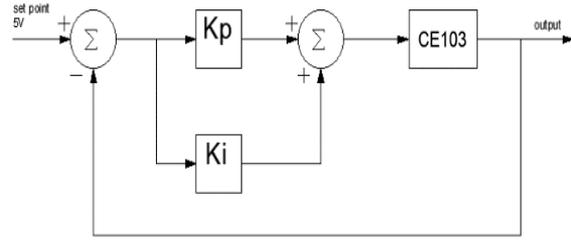
Эндээс дамжуулалтын функц нь:

$$W_{об(p)} = \frac{1,36}{(24,3p + 1)(9,06p + 1)^2}$$

Дамжуулалтын функцийг гаргаж авах туршилтыг зураг.3-д үзүүлсээр холбоно. Бүтцийн схемийг зураг.4-д үзүүлэв.



3-р зураг. Объект CE103, контроллер CE120 туршилт 1-ын холболтын схем



4-р зураг. Автомат тохируулгын системийн бүтцийн схем

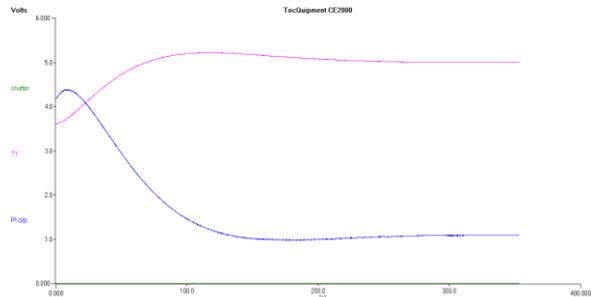
Туршилт хийсэн ажлын дараалал:

Компьютерт CE2000 программ хангамжийг ачааллуулан FILE цэснээс OPEN TECQUIPMENT CIRCUIT цонхноос New дуудаж зураг.4-д нийцсэн удирдлагын схемийг байгуулна.

ПИ хуулиар тохируулагдах битүү АТС-ийн пропорциональ коэффициент $k_p = 3$, интеграл коэффициент $T_i = 0,05$ байх үеийн объектын шилжэлтийн тодорхойломжийг гаргаж авна. Үүний тулд CE2000 программ хангамжийн үндсэн цэснээс Record товчлуурыг дарж удирдлагын схемийг ажиллуулна. Stop товчлуурыг дарж удирдлагыг зогсооно. Программын үндсэн цэснээс Draw graph товчлуурыг дарж графикийг гаргаж авна.

Хэмжилт дууссаны дараа холболтын утаснуудыг салгана. [5]

Температур тохируулгын үр дүнг зураг 5-д үзүүлэв.



5-р зураг. АТС-ийн шилжэлтийн тодорхойлолж

Туршилт 2.

Энэ туршилтын зорилго нь MATLAB программ хангамжаар туршилт 1-д тодорхойлсон дамжуулалтын функц бүхий объектын хөглөлтийн параметруудийн оновчтой утгыг тодорхойлж, тохируулгын хугацааг багасгахад оршино.

Туршилтын ажлын дараалал:

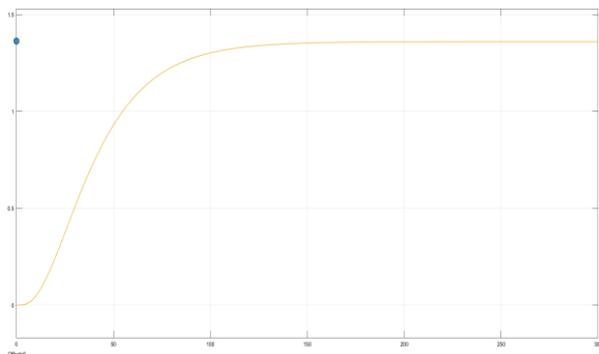
MATLAB программ хангамжийн үндсэн цэснээс Simulink цонхыг нээж зураг.7-д харуулсан объектын удирдлагын схемийг байгуулна.

Нэгж шаталсан үйлчлэлтэй битүү АТС-ийн пропорциональ коэффициент $k_p = 2.5$, интеграл коэффициент $T_i = 0.07$, дифференциал коэффициент $T_d = 18$ байх удирдлагын сигнал объектдо өгнө.

Объектын гаралт дохио нь 0.5 секундийн хожимдолтой байхаар тохируулж үндсэн цэснээс Run товчлуурыг дарж удирдлагын схемийг

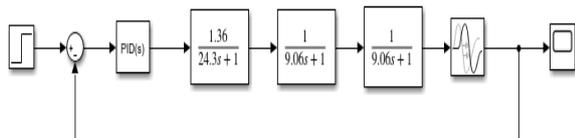
ажиллуулна. Схем ажилласны дараагаар Score блокоор шилжилтийн тодорхойломжийг авна.

Үүнээс CE103 объектын дамжуулалтын функцийг тодорхойлж, гүйлтийн муруйг MATLAB программаар зураг 1.6-д үзүүлснээр гаргаж авав.



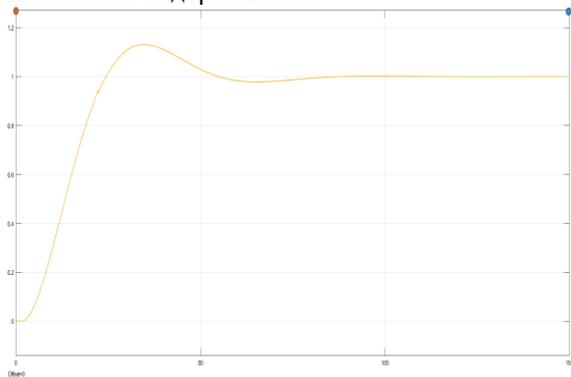
6-р зураг. CE103 объектын гүйлтийн муруй

MATLAB-Simulink дээр объектын автомат удирдлагын схемийг зураг 7-д үзүүлснээр байгуулав. [7]



7-р зураг. CE103 объектын удирдлагын схем

Score-ийн гаралтаар тодорхойлсон CE103 объектын шилжилтийн тодорхойломж:



8-р зураг. CE103-ын шилжилтийн тодорхойломж

II. ДҮГНЭЛТ

Дулааны процесс удирдлагын CE103 объектын температур тохируулгын судалгааны ажил нь уг тохируулгын объектоор сургалт болон судалгааны нөхцөлд ашиглах боломжтой дамжуулалтын функц, шилжилтийн тодорхойломжийг тодорхойлох туршилтуудыг хийж гүйцэтгэлээ. Туршилтын үр дүн нь объектын дамжуулалтын функцийг ашиглан түүнийг хөглөх, хөглөлтийн параметруудийн оновчтой утгыг CE2000 болон MATLAB программ хангамжийн тусламжтайгаар тодорхойлов.

CE2000 программаар тодорхойлсон шилжилтийн тодорхойломжийн тогтворжих хугацаа нь 247 секунд байсан бол MATLAB программаар хөглөлтийн параметруудийг оновчтой утгыг тодорхойлсноор тогтворжилтийн хугацаа 86 секунд хүртэл өөрчлөв. Автомат тохируулгын системийг PID хуулиар тохируулах нь PI хуулиар тохируулахаас богино хугацаанд тогтворжуулж байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

- [1]. TecQuipment, "Controller," TecQuipment, Nottingham, 2016.
- TecQuipment, "Control Software," TecQuipment, Nottingham, 2005.
- [1] TecQuipment, "CE103 Thermal process control," TecQuipment, Nottingham, 2016.
- [2] <https://www.tecquipment.com/assets/documents/datasheets/CE2000-Control-Software-Datasheet.pdf>, [Online].
- [3] Д. Д. Д. О.Чимэд, Олон хүрээт автомат тохируулгын системийн тооцоо, Улаанбаатар: ШУТИС-ийн хэвлэх үйлдвэр, 2023.
- [4] Ц. Д.Үлэмж, Автомат удирдлагын систем, автоматжуулалт, Улаанбаатар: ШУТИС-ийн хэвлэх үйлдвэр, 2019.
- [5] <https://www.mathworks.com/>, [Online].

НАРНЫ ЗАЙН СИСТЕМИЙН БАТАРЕЙН УДИРДЛАГА, ХЯНАЛТ

М.Хос-Эрдэнэ¹, Г.Мөнгөншагай¹

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

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

Хураангуй— Нарны эрчим хүчний биеэ даасан “Offgrid” системийн угсралтын зардлын 50% гаруй хувийг батарей зардал дангаараа эзэлдэг ба батарейны хүчин чадлаас хамаараад илүү нэмэгддэг. Тиймээс нөөцлүүр болгон ашиглах боломжтой дахин сэргээгддэг хаягдал батарей хэрэглэн батарей, нөөцлүүрийн зардлыг багасгах боломжтой. Улаанбаатар хотод хэрэглэгдэж буй нийт авто машины 21.4%-ийг 2020 оны байдлаар “Toyota Prius” маркийн машин эзэлсэн ба тухайн онд 128983 Приус машин Улаанбаатар хотод бүртгэгдсэн байна. Үүнээс үүдэлтэй батарейны хаягдал элбэг байдаг бөгөөд 1 ширхэг Приус машинаас 28 ширхэг батарейн хаягдал гардаг ба Приус машины засварын газарт 2 сар тутамд дунджаар 1000 гаруй батарейны хаягдал гардаг байна. Манай улс батарей дахин сэргээх үйлдвэргүй учир хаягдал батарейг дахин ашиглах боломжгүй болдог бөгөөд ашигтай эд анги салгах зориулалтын үйлдвэргүйн улмаас хагдал батарей байгаль орчинд сөрөг нөлөөлөл үзүүлдээр байгаа. Үүнээс хамааран “Сэргээгдэх эрчим хүч”-тэй хосолсон бага оврын нарны зай-батарей хосолсон төхөөрөмж боловсруулна. Автомашинд хэрэглэгдэх боломжгүй ч сэргээгдэх эрчим хүчний зорилгоор дахин ашиглах боломжтой ба дахин цэнэглэгдсэн батарей нь гар утас цэнэглэх, гэрэл тусгах, өөрийн зөврийн компьютер зэрэг жижиг цахилгаан хэрэгслийг цэнэглэх, хэрэглэхэд бүрэн боломжтой байдаг. Уг төхөөрөмж нь өөр дээрээ гэрэл, чанга яригч, температур мэдрэгч, батарейн үзүүлэлтүүдийг агуулсан LCD дэлгэцтэй ба батарей менежмент системтэй болно. Уг төхөөрөмжид хаягдал батарейг хийн дахин цэнэглэж төхөөрөмжид байх портуудаар бусад хэрэглээг хийх боломжтой болно.

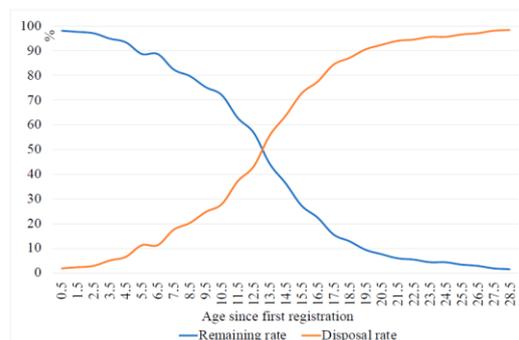
Түлхүүр үг— Ni-MH батарей, хаягдал батарей, цэнэглэлт, цэнэг алдуулалт, нарны зай, батарей менежментийн систем.

I. УДИРТГАЛ

A. Монгол дахь NiMH батарейны хог, хаягдал

Батарей нь түүний идэвхтэй материалд агуулагдах химийн энергийг цахилгаан химийн исэлдэн-ангижрах урвалын тусламжтайгаар шууд цахилгаан энерги болгон хувиргадаг төхөөрөмж юм. Дахин цэнэглэдэг системийн хувьд уг урвалын эсрэг замаар зайг цэнэглэдэг. Энэ төрлийн урвал нь цахилгаан хэлхээгээр дамжуулан электронуудыг нэг материалаас нөгөөд шилжүүлэх явдал юм. Улаанбаатар хотод хэрэглэгдэж буй нийт авто машины 21.4%-ийг 2020 оны байдлаар “Toyota Prius” маркийн машин эзэлсэн ба тухайн онд 128983 Приус машин Улаанбаатар хотод бүртгэгдсэн байна [1]. Монголд импортолж буй гибрид (хосолмол) хөдөлгүүртэй автомашинууд ихэвчлэн 10-аас дээш жилийн эдэлгээтэй байдгийг 1-р зурагт үзүүлэв. Тэдгээрийн батарейны насжилт цаг агаарын эрс тэс уур амьсгалаас хамаарч 15-аас 20-н жилийн насжилттай байдаг [1]. Тиймээс хаягдал батарейг дахин боловсруулах, хаягдал батарейны тусгай хогийн цэг шаардлагатай байна.

Уг Приус машины батарейг дахин цэнэглэн, автомашинд хэрэглэх боломжгүй ч өдөр тутмын хэрэглээ, эрчим хүчний нөөцлүүр болгон хэрэглэхэд тохиромжтой юм. Тиймээс бид NiMH батарейг өөр зориулалтаар дахин ашиглан, ашиглалтын хугацааг нь уртасгах зорилгоор гар утсыг цэнэглэдэг зөврийн батарей нөөцлүүр хийхийг зорьсон [2].



1-р зураг. Японд үйлдвэрлэж буй (цэнхэр) Монгол руу экспортолж буй (улар шар) машинуудын насжилт [2].

B. Ni-MH батарейны найрлага шинж чанар

NiMH батарей нь металлын өндөр агуулгатай байдаг бөгөөд массын 17.9% никель, 4.4% кобальт, 17.3% газрын ховор элементүүд болон лантан, цери агуулсан байдаг [3] [4]. Энэ нь байгалиас олборлох металлтай дүйцэхүйц металлыг цэврээр ялган авах боломжтой. Ni-MH батарей нь 3 үндсэн хэсгээс бүрддэг.

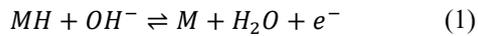
1. Анод болон катодын холимог
2. Тусгаарлагч
3. Хуванцар

Анодын материалын найрлага:

Ni-MH батарей нь анод, катод болон КОН-ын электролит уусмалаас бүрдэх бөгөөд анодын материал нь устөрөгч агуулсан AB_5 гэсэн найрлагатай металлын хайлш байдаг [5] [6]. А атом

хэсэгт ГХЭ (La, Ce, Pr, Nd)-ийн хайлш агуулдаг бол В атомын хэсэгт (Ni, Cd, Mn, Al, Fe) зэрэг металлуудыг агуулдаг байна.

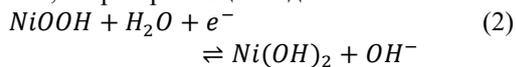
Анод дээр явагдах урвалын дараах тэгшитгэлээр илэрхийлнэ.



$$E^0 = -0.83 V$$

Катодын материалын найрлага:

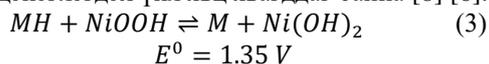
Ni-MH батарейны катодын материал нь никелийн гидроксид Ni(OH)₂ бөгөөд энэ цахилгаан химийн урвалд орж NiOOH үүсгэх урвал явагддаг [7]. Энэ тухайн батарей цэнэгийн шилжилтээр батарей цэнэглэх, баарах үйл явц явагдана .



$$E^0 = 0.52 V$$

Ni-MH батарейны ажиллах зарчим:

Ni-MH батарей нь анод болон катодын хооронд цахилгаан химийн урвал явагдах бөгөөд исэлдэн, ангижрах урвалын дүнд электроны шилжилт явагдсаны дүнд батарей цэнэг алдуулалт болон дахин цэнэглэгдэх үйл явц явагддаг байна [8] [6].



II. АРГАЧЛАЛ БА ТӨХӨӨРӨМЖ

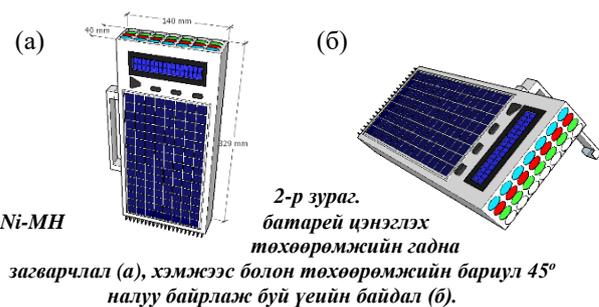
A. Ni-MH батарей цэнэглэх төхөөрөмжийн ажиллах зарчим

Бид нарны зайтай хослон ажиллах боломжтой, Тоёота Приус машины хаягдал Ni-MH батарейг дахин цэнэглэх зорилгоор дараах төхөөрөмжийн системийг төлөвлөсөн.

Энэхүү төхөөрөмж нь өөрт агуулагдах “Battery management system” буюу батарейн хяналт, удирдлага хариуцсан системийн тусламжтай Ni-MH батарейны цэнэг алдалт, цэнэглэгдэх үйл явцыг хянан батарейн аюулгүй байдлыг бүрэн зохицуулах зорилготой. Энэхүү үйл явц нь батарейн насжилтыг уртасган, авто машинд дахин хэрэглэх боломжгүй ч өдөр тутмын хэрэглээг хангах, цэнэг хуримтлуурын зорилгоор дахин ашиглах нөхцөлийг бүрдүүлж өгдөг.

Төхөөрөмжийн гадна талыг 2(а)-р зурагт харуулснаар Type-C загварын болон USB-A, USB-C төрлийн оролт, гаралтын холболтын хэсэг, уг төхөөрөмжийг унтраах, асаах, удирдах товчлуур, харанхуйд хэрэглэх боломжтой гэрэл, батарейг цэнэглэх нарны зай, зэрэг зүйлсийг багтаан загварчилсан. Төхөөрөмжийн урт нь 329 мм, өргөн нь 140 мм байхаар загварчлагдсан.

Төхөөрөмжийн бариул хэсэг нь 45° налуу тал нугарах боломжтой бөгөөд, батарейг нарны зайгаар цэнэглэх үед нар луу харуулан бариулыг эргүүлэн тавьснаар илүү давуу тал болж өгдгийг 2(б)-р зурагт үзүүлэв.

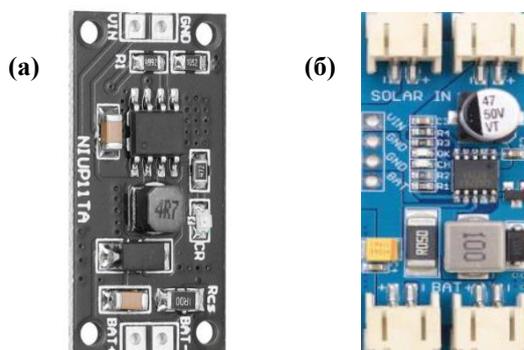


Ni-MH

2-р зураг. батарей цэнэглэх төхөөрөмжийн гадна загварчлал (а), хэмжээс болон төхөөрөмжийн бариул 45° налуу байрлаж буй үеийн байдал (б).

B. Ni-MH батарей цэнэглэх төхөөрөмжийн батарей цэнэглэлтийн хэсэг төлөвлөлт

Төхөөрөмжийн Ni-MH батарей дахин цэнэглэх хэсгийн төлөвлөлт нь 3(а)-р зурагт үзүүлсэн “NIUP11TA-NI-MH_battery_charger” [9]. болон 3(б)-р зурагт үзүүлсэн “CN3191-MPPT_Battery_charger” [10]. гэсэн хоёр төрлийн хэсгээс бүрдэж байгаа ба модуль дээр туршилт явуулан батарейг цэнэглэсэн. Туршилтыг явуулахдаа 30 Ом, 51 Ом, 100 Ом-ийн эсэргүүцлүүд ашигласан бөгөөд, хүчдэлийг 0.5V-оос тухайн модуль тус бүрийн хүчдэлийн хязгаар хүртэл тэжээлийн эх үүсвэр болон нарны зай ашиглан гаралтын гүйдэл, хүчдэлийг шалгаж, модуль тус бүрийн шинж чанаруудыг хэмжиж үзсэн.



3-р зураг. NIUP11TA модуль (а)ба MPPT батарей цэнэглэгч модуль (б).

Туршилт нь дараах схемийн дагуу явагдсан болно.

“Power supply” буюу Тэжээлийн эх үүсвэр:

Гаралтын хүчдэл=4.5 В- 5.5 В

Гаралтын гүйдэл= 230 мА

MPPT: Оролтын хүчдэл=4.5 В- 5.5 В

Оролтын гүйдэл=230 мА

Гаралтын хүчдэл=8.1 В- 10.2 В

Гаралтын гүйдэл=230 мА

Ni-MH батарей цэнэглэгч:

Оролтын хүчдэл=4.5 В- 5.5 В

Оролтын гүйдэл=230 мА

Гаралтын хүчдэл=8.1 В- 10.1 В

Гаралтын гүйдэл=230 мА

“Pv cell” буюу нарны зай:

Гаралтын хүчдэл=10.1 В

Гаралтын гүйдэл=240 мА

Амперметрийг эсэргүүцэлтэй цуваа холбон гүйдлийг хэмжиж, вольтметрийг эсэргүүцэлтэй зэрэгцээ холбон хүчдэлийг хэмжсэн.

Ev peak CQ3 маркийн төхөөрөмж ашиглан цэнэглэх, цэнэг алдуулах үйл явц хийж батарей багтаамжийг тодорхойлно.

4-р томьёог ашиглан багтаамжийг тодорхойлно. Харин батарейнаас гаргаж авах боломжтой эрчим хүчийг 5-р томьёог ашиглан олно.

$$Capacity = I * t \tag{4}$$

$$E = I \int_0^t V(t)dt \tag{5}$$

I= Тогтмол гүйдэл

t=хугацаа

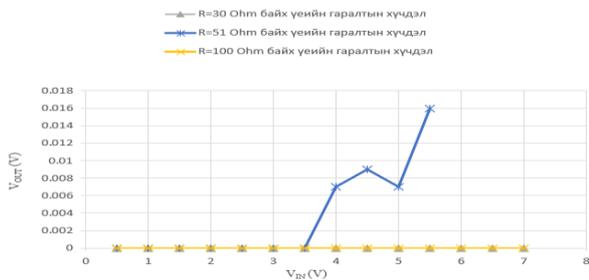
V= Тухайн агшин дахь хүчдэл

III. ҮР ДҮН

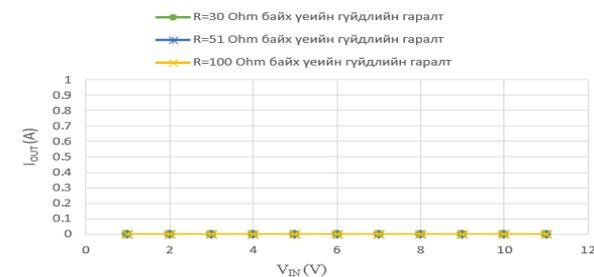
A. NIUP11TA модуль дээр явуулсан туршилт

NIUP11TA модуль нь өөрөө залгагдсан батарейг таних мэдрэгчтэй бөгөөд батарей холбогдоогүй үед эсвэл Ni-MH-аас өөр төрлийн батарей холбогдсон үед “Sleep mode”-д орж ажиллахгүй болдог. Энэ үед гэжээл авсныг мэдэгдэн улаан LED асдаг. Харин батарей тогтвортой цэнэглэгдэх үед LED гэрэл удаанаар анивчин асдаг. Туршилтын үр дүнд NIUP11TA модуль нь 10V хүртэлх тогтмол хүчдэлд ажиллах боломжтой нь тодорхойлогдсон

(a)



(б)



4-р зураг. NI-MH battery charger батарей залгаагүй байх үеийн хүчдэл (a), гүйдлийн (б) хэмжилт.

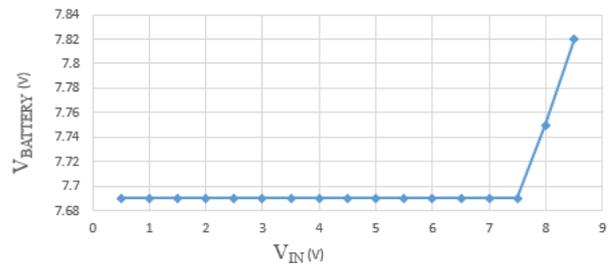
4-р зурагт харагдаж байгаагчлан NIUP11TA модуль нь эсэргүүцэл тавьж өгсөн туршилт дээр

ажиллагаагүй, туршилтын турш sleep mode-нд байсан бөгөөд батарей цэнэглэж эхлэх үед ажиллагаа эхэлж, батарей таних горим нь ажиллаж байгааг шалгасан.

Туршилтыг 7.69 В байсан батарей дээр хийсэн бөгөөд 0.5V-оос 10V хүртэлх тэжээлийн хүчдэлийг эх үүсвэрээс өгч туршсан. 5(a)-р зурагт үзүүлснээр 8 Вольтоос эхлэн батарей дээрх хүчдэл өссөн нь цэнэглэлт эхэлснийг илтгэж байсан. Туршилтыг 10 Вольтоос дээш хийгээгүй бөгөөд оролтын хүчдэлийн хамгийн их утгыг давснаар эвдрэх эрсдэл байсан юм. 5 (б)-д үзүүлснээр 8 Вольтоос эхлэн гүйдлийн утга өссөн бөгөөд 10 В болоход 0.33 А хүрсэн. Туршилтыг тогтмол 10 В дээр байлгахад гүйдэл нь 0.33 А дээр тогтворжиж, жигд гүйдлээр батарейг цэнэглэж байсан.

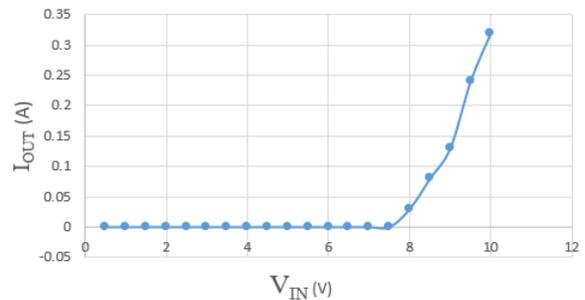
(a)

— Ni-MH батарей цэнэглэж байх үеийн батарейн хүчдэл



(б)

— Ni-MH батарей цэнэглэж байх үеийн гүйдэл

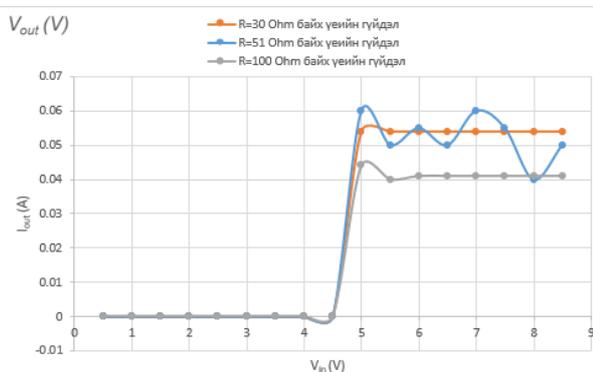
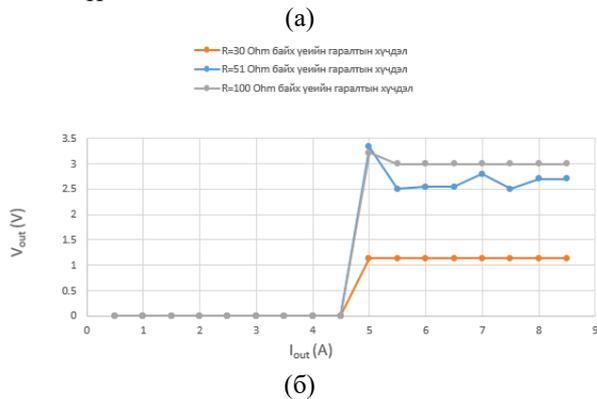


5-р зураг. Ni-MH battery charger батарейтай холбогдсон байх үеийн хүчдэл (a), гүйдлийн график (б).

B. MPPT battery charger модуль дээрх туршилтын үр дүн:

MPPT battery charger модуль нь мөн адил батарей таних системтэй бөгөөд нарны зайтай шууд холбогдох оролтын хэсэгтэй нь давуу тал болж өгдөг [10]. Туршилтын үр дүнд MPPT модуль 5 Вольтоос эхлэн ажиллаж эхэлсэн бөгөөд 10В хүртэлх хүчдэлд ажиллах боломжтойг 6(a) зурагт үзүүлсэн. Оролтын 5 Вольтоос эхлэн хүчдэл нь 30, 51, 100 Омын эсэргүүцлүүдийн хувьд 1.2, 2.5, 3 Вольт тус тус хүрсэн. Гаралтын гүйдэл нь 6(б) зурагт үзүүлснээр 30, 51, 100 Омын эсэргүүцлүүдийн хувьд 55, 55, 40 мА тус тус хүрсэн. NIUP11TA модулиас ялгаатай нь эсэргүүцэл тавьж өгсөн туршилт дээр шууд ажиллаж

байсан бөгөөд гаралтын хүчдэл нь оролтын хүчдэл ихсэх бүрд нэмэгдэж байсан.



6-р зураг. MPPT charger дээрх явагдаж буй туршилтын гаралтын хүчдэл (а), гүйдлийн (б) график.

MPPT battery charger-ийн оролтын хүчдэл, гүйдэл нь нарны зайнаас шууд хамааралтай бөгөөд нарны зайны чадал хэр сайн байна төдий чинээ MPPT battery charger-ийн ажиллах чадал нэмэгддэг [10]. MPPT battery charger-ийн туршилтын схем

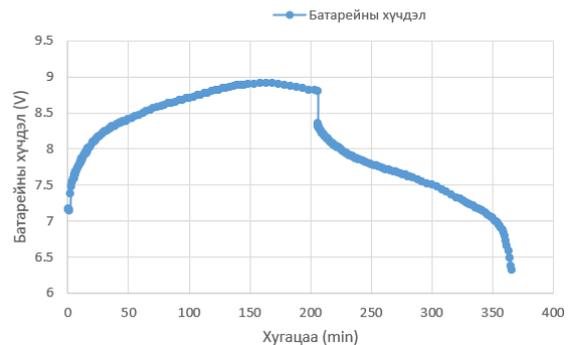
C. EV-PEAK CQ3 маркийн батарей цэнэглэгч ашиглан цэнэг алдалт, цэнэглэх үйл ажиллагаа явуулсан туршилт

Туршилт нь цэнэглэх үйл явцаас цэнэг алдуулах үйл явц хүртэл нэг цикл буюу нэг удаа явагдсан. Туршилт эхэлсэн хугацаанаас цикл дуусах хугацаа хүртэл тэмдэглэн авч нэг циклийн хугацааг тодорхойлно.

Энэхүү төхөөрөмжид батарейгаа холбон гүйдэл, хүчдэлийн өгөгдлийг гараас өгч хэдэн вольт хүртэл цэнэг алдуулах зэргийг сонгодог. 7-р зураг туршилтад оруулсан батарей нь анх 7.15V байсан ба батарейг 8.91V хүртэл цэнэглээд хүчдэл тогтворжсоны дараа цэнэг алдуулах үйл явц эхэлсэн. Цэнэг алдах явцад 8.9V-оос 6.32V хүртэл болгосон бөгөөд энэ цикл нь 365 минут үргэлжилсэн. Үүнд цэнэглэх үеийн гүйдэл нь 2A байсан бол цэнэг алдуулах үеийн гүйдэл нь 1.3A байсан. Батарейны багтаамж нь 3.5 Ац байгааг тогтоосон [11]. Уг батарейгаар энгийн смарт гар утсыг 3-аас дээш удаа цэнэглэх боломжтой юм. Ихэнх хаягдал NiMH

батарейнууд үүнээс өндөр багтаамжтай бөгөөд дор хаяж 5-аас дээш удаа гар утас цэнэглэх боломжтой гэж үзэж байна.

Батарей цэнэглэх, цэнэг алдуулах үеийн хүчдэл



7-р зураг. EV-PEAK CQ3 charger хэрэглэн хийсэн цэнэглэх, цэнэг алдуулах үйл явцын туршилтын үр дүнгийн график.

IV. ДҮГНЭЛТ

Батарей хог хаягдал нь байгаль орчинд бохирдол үзүүлж буй томоохон хэсгийн нэг бөгөөд хэт их хаягдал үүсэж, үүнийг ангилах тусгай зориулалтын газаргүй, дахин боловсруулах үйлдвэргүйн улмаас байгаль орчинд үзүүлэх сөрөг нөлөө нь ихэссээр байна. Тиймээс батарей боловсруулалтын үйлдвэр, тусгай хог хаягдал хаях, ялгах хэсэг барьж байгуулах нь чухал юм. Бид NiMH батарейг зөөврийн батарей нөөцлүүрээр дахин ашиглах боломжийг судаллаа. Уг батарей нөөцлүүрт хэрэглэж болох хамгийн их чадал дагагч MPPT болон 6 зай бүхий NiMH модуль цэнэглэгчийг багц болгон ашиглах боломжийг судалсан. Хаягдал NiMH батарейнд ердийн ухаалаг гар утсыг 3-с дээш удаа цэнэглэх боломжтойг тогтоосон. Бид багтаамж өндөртэй NiMH батарей нь дор хаяж 5-с дээш удаа цэнэглэнэ гэж үзэж байна. Дараагийн алхамд төхөөрөмжийг цогц байдлаар нь туршина. Эдгээр судалгаа нь “Сэргээгдэх эрчим хүч”-д шаардлагатай батарей нөөцлүүрт хаягдал батарейг ашиглах боломжийг бас харуулж байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

- [1] Үндэсний статистикийн хороо, “Статистикийн мэдээллийн нэгдсэн сан,” Үндэсний статистикийн хороо, 1911. [Холбогдсон]. Available: <https://www.1212.mn/mn/about-us/home>. [Нэвтэрсэн 1911].European commission, “Global CO2 emissions rebound”, EU Science Hub, 2023.
- [2] Б.Өсөхбаяр, Сэргээгдэх никель метал батарейны модулиудад зориулсан батарей менежментийн системийг боловсруулах, Улаанбаатар, 2023.
- [3] Г.Бүрэнтогтох, Хаягдал батарейг дахин боловсруулах технологийн судалгаа, Улаанбаатар, 2022.
- [4] Duracell, NI-MH Technical Bulletin, On-Line documentation.
- [5] N. m.-h. batteries, Access engineering, Mc Graw Hill Education
- [6] K.-h. Y. a. S. k. Yasouka, Capacity Degradation Mechanisms in Nickel/Metal Hydride Batteries, Batteries.
- [7] B. F. Tobias Muller **, Development of a recycling process for nickel-metal hydride batteries, IME Process Metallurgy and

- Metal Recycling, Department of RWTH Aachen University, Germany, 2005.
- [8] J. Y. K. O. Shuoyao Wang, Scenario Analysis on the Generation of, Recycling, 2019.
- [9] W. e. technology, CJL5288, Wuhan eshine technology, 2019.
- [10] CNL5288, CnL5288 datasheet.
- [11] Y. Y. V. S. Mohammad Assefi and Samane Maroufi, Pyrometallurgical recycling of Li-ion, Ni-Cd and, ScienceDirect, 2020.
- [12] Өрөг.мн, “Өрөг,” 2016. [Холбогдсон]. Available: <https://www.urug.mn/news/13827>.
- [13] Л. Мөнхтөр, “Өдрийн сонин,” 05 05 2017. [Холбогдсон]. Available: <https://dnn.mn/news/43885>. [Нэвтэрсэн 05 05 2017].
- [14] T. Redley, Handbook of batteries, Mcgraw Hill companies, 2011.
- [15] “Energy storage materials,” %1-д *energy storage materials*, p. volume 51.

МОНГОЛЫН БИОМАССЫН ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ НӨӨЦИЙН СУДАЛГАА

Э.Жавхлантагс¹, Г.Мөнгөншагай¹, Б.Тунгалагтамир², Э.Энхжин²

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

²Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Хэрэглээний шинжлэх ухааны сургууль, Химийн инженерчлэлийн салбар

*Холбогдох зохиогчийн и-мэйл хаяг: mingunshagai@must.edu.mn

Хураангуй—Монгол улс эрчим хүч, дулааны хэрэгцээний дийлэнх хувийг нүүрсээр ажилдаг дулааны цахилгаан станцуудаар хангадаг. Жил ирэх тусам эрчим хүчний хэрэгцээ нэмэгдэхийн хэрээр CO₂-ийн ялгаралт ихэссээр байна. Иймд хатуу түлшний хэрэглээ багасгах, тогтвортой эрчим хүч үйлдвэрлэх зорилгоор сэргээгдэх эрчим хүчийг ашиглах нь зүйтэй. Энэхүү судалгаанд уламжлалт таван хошуу малын (морь, хонь, тэмээ, ямаа, үхэр) өтөг бууцанд чийгшил, үнслэг, дэгдэмхий бодисын шинжилгээг хийж үр дүнг боловсруулсан. Таван хошуу малын өтөг бууцны жилийн гарц болон илчлэгийн хэмжээг олон эх үүсвэрүүд болон дотоодын судалгаануудаас цуглуулж дундажласан. Чийгшил нь таван хошуу малын хувьд дунджаар нийт массын 55% байсан нь хуурай шатаах өтөг бууцны массын нөөцийг олоход хэрэглэгдсэн. Үнслэг таван хошуу малын дунджаар 8.4% бөгөөд гарах шатаасны дараах гарах хаягдлыг тодорхойлсон. Монгол улсын малын тоо толгой болон судалгаагаар олж авсан үзүүлэлтүүдээс Монголын малын гаралтай биомассын эрчим хүчний нөөцийг 89 ТВт.цаг гэж тодорхойлов. Энэ нь төвийн эрчим хүчний системийн дулаан үйлдвэрлэлээс 4.7 дахин их байна.

Түлхүүр үг— өтөг бууц, дээж, физик шинжилгээ, биомасс

I. УДИРТГАЛ

Манай улсын хүн амын өсөлт нэмэгдэхийн хэрээр хөдөө орон нутгаас хот руу ирэх шилжилт хөдөлгөөн нэмэгдэн улмаар хүн амын бүтцэд өөрчлөлт бий болж өсөн нэмэгдэж буй дулаан цахилгааны хэрэглээг хангах нь нэн түрүүний асуудал болсоор байна. 2024 оны 02 сарын 25 ний өдрийн оргил ачаалал 19:00 цагт 1461 МВт хүрч өнгөрсөн оны мөн үеэс 347 МВт-аар, импорт нь 230 МВт-аар тус тус өссөн байна [1].

Азийн хөгжлийн банк (АХБ)-ний хөгжиж буй гишүүн орнуудын дунд эрчим хүчний систем нь нүүрснээс хамгийн их хамааралтай байгаа нь Монгол Улс юм. 2018 оны байдлаар Монгол Улсын эрчим хүчний 80 гаруй хувийг хангадаг Төвийн Эрчим Хүчний Систем (ТЭХС)-д төвлөрүүлж буй нийт эрчим хүчний 93 хувийг нүүрс шатаах замаар эрчим хүч гаргадаг дулааны болон цахилгаан станцуудаас нийлүүлж байв [2]. Аймаг, сум, хотын захын гэр хорооллууд нь төвийн дулаан хангамжийн шугам сүлжээнд холбогдоогүй байдгаас шалтгаалан өвлийн улиралд түүхий нүүрс, мод зэрэг бусад хатуу түлшийг шатааж хоол бэлтгэх, дулаан гаргах зорилгоор ашигладаг нь агаарын бохирдлыг аюултай хэмжээнд хүргэж, утаанаас шалтгаалах эрүүл мэндийн асуудал үүсэхэд нөлөөлсөөр байна.

Эрчим хүч үйлдвэрлэхэд ашиглаж болох олон төрлийн амьтны, ургамлын төрлийн хог хаягдал байдаг. Үүнд сүрэл, самрын хальс, модны хаягдал, газар тариалангийн үлдэгдэл, малын ялгадас, фермээс гарах өтөг бууц орно. Манай улсын хувьд хамгийн түгээмэл олодох түүхий эд нь малын өтөг бууц юм. Малын гаралтай биомассын түлшийг хий, шингэн, хатуу, холимог гэж ангилж болно. Эдгээрийг эрчим хүч гарган авах зорилгоор шатаах, хийжүүлэх, исгэх, пиролиз, агааргүй задралын зэрэг аргуудыг ашиглаж гарган авдаг. Биомассын аль (бионүүрс, био хий, био түлш) бүтээгдэхүүнийхээ

гарцыг нэмэгдүүлэхээсээ шалтгаалаад хамгийн боломжтой тохируулах арга нь пиролиз мөн. Бионүүрсийн гарцыг нэмэгдүүлэхэд хурдан пиролиз, био түлшний гарцыг нэмэгдүүлэхийн тулд удаан пиролизийн аргуудыг ашигладаг. Пиролиз 300-800°C-ийн температурт хүчилтөрөгчгүй үед биомассыг био нүүрс, био түлш, нийлэг хий (syngas) болгон хувиргах дулааны задрал юм [3]. Пиролиз урвалаас үүссэн бүтээгдэхүүнийг тээвэр, дулаан болон цахилгаан гарган авахад шууд болон шууд бус аргаар ашиглаж болох билээ. Энэхүү судалгаанд таван хошуу малын өтөг бууцанд техникийн шинжилгээ (чийг, дэгдэмхий, бодис, үнслэг) хийсэн. Жилийн массын гарц болон илчлэгийг олон улсын болон дотоодын судалгааны утгуудыг цуглуулж дундажласан. Эдгээр үр дүнгүүдийг Монгол улсын таван хошуу малын тоо толгойд харьцуулан биомассын үйлдвэрлэх нөөц боломжийг судалсан.

II. СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

A. Дээж ба мэдээлэл цуглуулалт

1) Дээж цуглуулалт

Дорноговь аймгийн Сайхандулаан сумын нутаг дэвсгэрт орших малчин айлын хорооноос хөрзөн болон хонины хоргол, үхрийн аргал, морины хомоолыг, Өмнөговь аймгийн Цогтцэций сумын малчин айлын хорооноос тэмээний хорголыг, Улаанбаатар хотоос баруун урд зүгт 30 км байрлах Нарго Грийн ХХК-ны сүүний чиглэлийн ямааны фермээс өтөг бууцыг 2024 оны 2 сард цуглуулж бэлтгэсэн. Энэхүү зургаан дээж тус бүрд туршилтуудыг (чийг, үнслэг, дэгдэмхий бодисын гарцыг тодорхойлох туршилтууд) хийхийн өмнө 500 г болгон савлаж бэлтгэсэн. Малын өтөг бууцны шинж чанарын шинжилгээний утгыг илүү нарийвчилж авахын тулд шинжилгээ тус бүрийг гурван удаа давтан явуулсан.

2) Мэдээлэл цуглуулалт

Үндэсний статистикийн хорооноос 1970-2022 оны таван хошуу малын тоон мэдээллийг авсан. Таван хошуу малын жилд үйлдвэрлэх дулааны эрчим хүчийг бий болгох зорилгоор Б.Нямгэрэл (2023) [4], П.Сарангэрэл (2008) [5] нарын тайлангаас малын өтөг бууцны нэг кг түлшинд агуулагдах дулааны эрчмийн хэмжээ, нэг өдөрт ялгарах малын нойтон өтгөний хэмжээг морь-14 кг, үхэр-18 кг, хонь-1.2 кг, ямаа-1.2 кг, тэмээ-16 кг-аар тус тус авч үзсэн.

- Жилд ялгарах малын өтгөний нийт хэмжээг:

$$A = d \times 365 \times (1 - W^a) \quad (1)$$

томьёогоор тооцож олсон. Үүнд: А- нэг жилд гарах нийт өтгөн (кг), d- нэг өдөрт гарах малын нойтон өтгөн (кг), W^a – нойтон бууцны чийг, %

- Жилд үйлдвэрлэх биомассын дулааны нийт эрчим хүчийг:

$$W = A \times c \quad (2)$$

$$B = W \times f \quad (3)$$

томьёогоор тооцож олсон. Үүнд: W-жилд үйлдвэрлэгдэх биомассын дулааны эрчим (кЖ/кг), В-жилд үйлдвэрлэгдэх биомассын дулааны эрчим (кВтц), с- малын нэг кг өтгөнд агуулагдах эрчим хүч (кЖ/кг), f-0.000277778 кВтц (1кЖ/кг=1 0.000277778 кВтц)

В. Чийгийн агууламж тодорхойлох арга

Чийгшлийг хэмжихийн тулд дээжийг урьдчилан бэлдэж жинг хэмжээд хатаасны дараах жинтэй харьцуулан тооцоолсон. Эхлээд 3 см диаметртэй бюксүүдийг сонгоод угааж цэвэрлэсэн. Бюксийн массыг тогтворжуулахын тулд Хятад улсад үйлдвэрлэсэн North Brooks-ийн 101-00SB маркийн хатаах шүүгээнд 105-110°C температурт 120 минутын турш хатаасан. Хатаасны дараа хатаах шүүгээнээс гарган авч агаарт 2-3 мин хөргөөд чийг татагч эксикаторт орчны температуртай болтол байлгасан. Үүний дараа бюксийг жинлэж дугаарласнаар туршилтад ашиглах бюкс бэлэн болсон. Бюксэнд дээжээс 1.0 ± 0.1 г (дээжийн давхарга 0.15 г/см^2 -ээс ихгүй байх ёстой) авч хийн аналитик жин (0.001) ашиглан жинлээд 105-110°C температурт халааж бэлтгэсэн хатаах шүүгээнд 60 минутын турш бюксын тагийг нь таглахгүйгээр байлгасан. Хатаалт явагдаж дууссаны дараа хатаах шүүгээнээс бюксыг гарган авч 2-3 мин хөргөөд дараа нь бюксын тагийг таглан чийг татах зориулалттай эксикаторт тасалгааны температуртай болтол хөргөөд жинлэсэн. Дараа нь хатсан дээжийг дахин хяналтын хатаалтыг явуулан мөн адил хөргөөд жинлэсэн. Хяналтын хатаалтын үед дээж нь исэлдэн масс нь нэмэгддэг ба энэ үед хяналтын хатаалтыг массын зөрүүг 0.001 г-аас бага болтол давтан (хугацаа 30 минут) явуулсан [6]. Дээжийн хатаах үеийн хамгийн бага массыг ашиглан тооцоо хийсэн ба “(4)” томьёогоор тооцоолж процентоор илэрхийлэв.

$$W^a = (m - m_1) \times 100 \quad (4)$$

m – хатаахаас өмнөх дээжийн масс, г

m_1 – 105°C-т хатаасны дараах дээжийн масс, г

С. Үнслэгийн хэмжээг тодорхойлох арга

Дээжийн үнслэгийн хэмжээг хүчилтөрөгчийн орчинд шатаахад үлдэх үнсний хэмжээгээр тодорхойлов. Туршилтад зориулан сонгон авсан тэгш өнцөгт шаазан завинуудыг тогтмол масстай болгохын тулд дулаан тохируулагчтай 900°C хүртэл халдаг Хятад улсад үйлдвэрлэсэн Esebio-н TC2.5-10/TC4-10 маркийн шатаах зууханд $815 \pm 15^\circ\text{C}$ температурт 60 минут халаасан. Халаасны дараа 5 минут эксикатор дотор хөргөөд жинлэсэн. Үүний дараа завинд дээжээс 1.0 ± 0.1 г авч жинлээд хүйтэн шатаах зууханд хийгээд $815 \pm 15^\circ\text{C}$ температурт хүртэл 60 минут шатаасан. Шатаж дууссан завьтай дээжийг 5 минут хөргөөд дараа нь эксикаторт хийн орчны температуртай болтол хөргөөд жинлэсэн. Үүний дараа завьтай дээжийг тогтмол масстай болтол буюу жинлэлт хоорондын зөрүүг 0.001 г-аас багагүй болтол хяналтын шатаалтыг явуулсан. Хяналтын шатаалтыг 30 минут явуулсны дараа гарган авч завийг 5 минут хөргөөд дараа нь эксикаторт хийн тасалгааны температуртай болтол хөргөөд жинлэсэн [6]. Дээжийн үнслэгийн хувь хэмжээг тодорхойлохдоо “(5)” томьёог ашиглан бодсон.

$$A^a = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \times 100 \quad (5)$$

m_1 -жинг тогтмолжуулсан завины масс, г

m_2 -завьтай дээжийн масс, г

m_3 -шатаасны дараах завьтай үлдэгдлийн масс, г

Д. Дэгдэмхий бодисын гарцыг тодорхойлох арга

Хатуу дээжийг агааргүй орчинд халаахад задрал явагдан агаарт уур болон дэгдэмхий хий ялгарч үлдсэн хатуу үлдэгдэл нь дэгддэггүй үлдэгдэл юм. Хатуу дээжийн дэгдэмхийг урьдчилан бэлтгэсэн дээжийн масс болон халаасны дараах массын харьцаанаас чийгийн хэмжээг хасаж тооцоолсон. 23.5-35.0 мм өндөртэй 32-45 мм диаметртэй шаазан тигелүүдийг сонгон угаагаад дугаарласан. Тигелд дээж хийж жинлэхээс өмнө тигелийн массыг массыг нарийн тогтоохын тулд дулаан тохируулагчтай 900°C хүртэл халдаг Хятад улсад үйлдвэрлэсэн Esebio-н TC2.5-10/TC4-10 маркийн шатаах зууханд $850 \pm 10^\circ\text{C}$ температурт 60 минут халаасан. Халаасны дараа 5 минут хөргөөд эксикаторт тасалгааны температуртай болтол хөргөсний дараа жинлэсэн. Жин нь тогтворжсон тигелд хатуу дээжээс 1.0 ± 0.01 г авч таглаад $850 \pm 10^\circ\text{C}$ температурт халааж бэлтгэсэн шатаах зууханд 7 минут шатаасан. Дараа нь шатаах зуухнаас тигелийн тагийг нээхгүйгээр гарган аваад 5 минутын хугацаанд агаарт хөргөн эксикаторт хийсэн.

Тасалгааны температур болтол хөрсөн дээжийг оксигатороос гарган авч жинлэж тооцоог хийсэн [6]. Дээжийн дэгдэмхий бодисын гарцыг хувиар илэрхийлэхэд “(6)” томъёог ашигласан.

$$V^a = \frac{(m_2 - m_3) \times 100}{m_2 - m_1} - W^a \quad (6)$$

m_1 – жинг тогтмолжуулсан тигелийн масс, г

m_2 – тигелтэй дээжийн масс, г

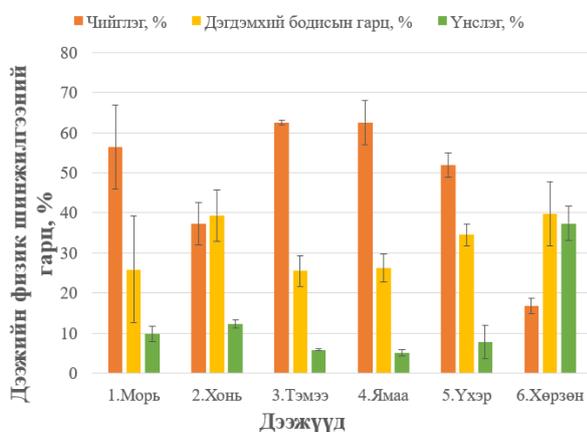
m_3 – шатаасны дараах тигелтэй үлдэгдлийн масс, г

W^a – нойтон дээжийн чийг, %

III. ТУРШИЛТ, ТООЦООНЫ ҮР ДҮН

A. Физик шинж чанар

Бууцны физик шинж чанарын шинжилгээ тус бүрийг 1-р хүснэгтэд үзүүлэв. 815°C-ийн температурт шатаасан дээжийн үнслэгийн хэмжээ нь 1-р зурагт харуулсны дагуу чийгийн агууламжаас урвуу хамааралтай байна. Морь, хонь, тэмээ, ямаа, үхрийн өтгөний 1 г-д агуулагдах үнслэгийн хэмжээ нь 5%-12% хооронд хэлбэлзсэн бол хөрзөнгийнх 37% байсан. Эдгээр нь хатсан массын хэмжээ их байх тусам үнслэг их байх ёстой гэсэн таамаглалтай таарч байгаа. Дээжийг агааргүй орчинд 850°C температурт 7 минут шатаахад дэгдэмхий бодис ялгарч жин 56%-89% хооронд буурсны дүнд үүнд агуулагдах дэгдэмхийн хэмжээ нь 26%-40% байсан [7] [8] [9].



1-р зураг. Физик шинжилгээний стандарт хазайлт. (стандарт хазайлтыг гурван туршилтын үр дүнгээр тооцоо хийж олсон)

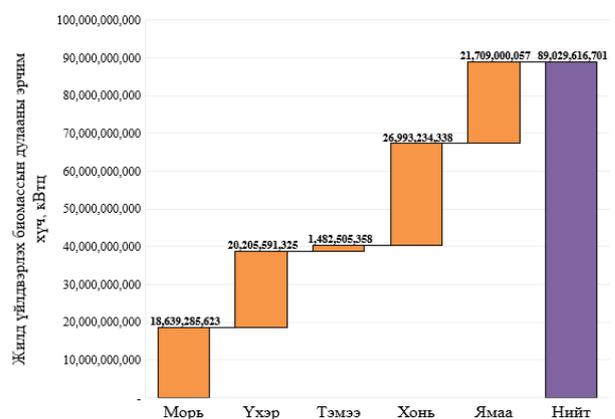
B. Биомассын эрчим хүчний нөөц бололцоо

Таван хошуу малаас гаргаж авах биомассын эрчим хүчний нөөцийг Монгол улсын таван хошуу малын тоо толгойд үндэслэн тооцсон. 2022 оны байдлаар уламжлалт таван хошуу малын (адуу, үхэр, хонь, ямаа, тэмээ) биомассын эрчим хүчний нөөц нь 89,029,616,701 кВт.цаг дулааны энергид хүрсэн. 2000 оноос хойш хонь, ямааны тоо толгой хэмжээ мэдэгдэхүйц түвшинд нэмэгдэж, нийт таван хошуу малын ихээхэн хувийг эзэлсэн нь нийт эрчим хүчний нөөцийн чадавхыг бууруулахад хүргэсэн (2-р зурагт үзүүлэв).



2-р зураг. Уламжлалт таван хошуу малын тоонд, биомассын үйлдвэрлэх дулааны энергийн харьцуулалт

Монгол орны уламжлалт таван хошуу малын жилийн биомассын нийт нөөц нь 89,029,616,701 кВт.цагтай тэнцэнэ (3-р зурагт үзүүлэв). Хонь (26,993,234,338 кВт.ц), ямаа (21,709,000,057 кВт.ц) нь тоо толгойнхоо хувьд хамгийн өндөр нөөцтэйг харуулж байна. Үхэр (20,205,591,325 кВт.ц) ба адуу (18,639,285,628 кВт.ц) тоо толгой багатай ч бараг ижил чадвартай. Харин тэмээн (1,482,505,358 кВт.ц) тоо толгой тул харьцангуй бага чадавхыг харуулж



байна.

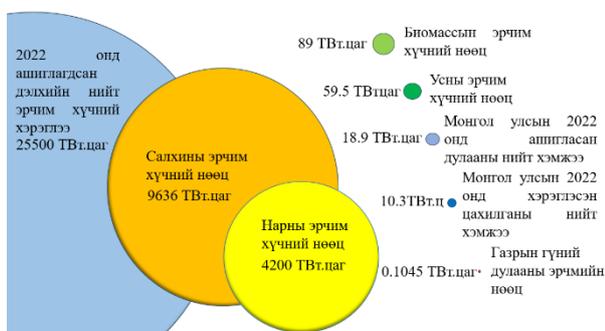
3-р зураг. Монгол улсын 2022 оны байдлаар үйлдвэрлэх боломжтой биомассын дулааны эрчим хүч (кВт.цаг-аар илэрхийлсэн)

Монгол улсын биомассын нөөц (89,029,616,701 кВт.цаг) нь цахилгаан хэрэглээ (2022 онд 10,300,000,000 кВт.цаг) болон дулааны эрчим хүчний үйлдвэрлэл (18,956,900,000.02 кВт.цаг)-аас илүү их нөөцтэй. Энэ нь тус улсад биомассын сэргээгдэх эрчим хүч нь төвийн дулааны үйлдвэрлэлээс 4.7 дахин их цахилгааны хэрэглээнээс 8.6 дахин их буюу асар их нөөц бололцоо байгааг харуулж байна [10] [11]. 4-р зурагт дэлхийн нэг жилд хэрэглэсэн эрчим хүчийг Монгол улсын сэргээгдэх эрчим хүчний нөөц бололцоотой харьцуулж үзүүлэв. Таван хошуу малын гаралтай биомассын дулааны эрчим хүчний нөөцийг тухайн нутаг дэвсгэрийн

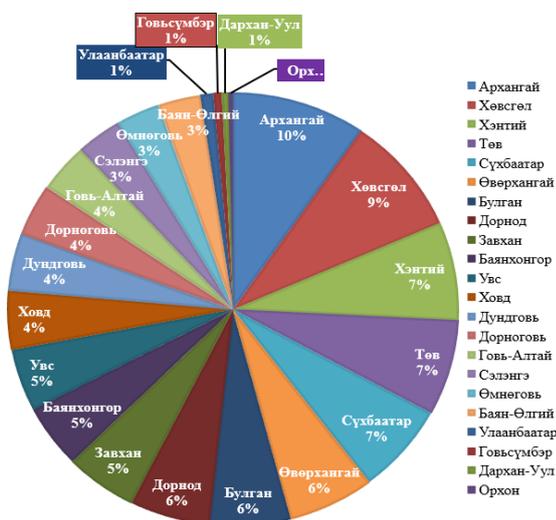
Физик шинжилгээний туршилтын үр дүн. 1-р хүснэгт.

№	Дэжүүд	Хатуу дэжийн чийгийг тодорхойлох, %			Хатуу дэжийн дэгдэмхий бодисын гарцыг тодорхойлох, %			Хатуу дэжийн үнслэгийг тодорхойлох, %		
		Туршилт			Туршилт			Туршилт		
		№1	№2	№3	№1	№2	№3	№1	№2	№3
1	Морь	45	65	59	41	18	19	8	9	12
2	Хонь	33	35	43	47	34	37	13	12	11
3	Тэмээ	62	63	63	28	27	21	6	6	6
4	Ямаа	56	67	65	25	23	30	5	6	4
5	Үхэр	55	50	50	38	33	33	12	5	6
6	Хорзон	18	15	17	33	38	48	40	32	40

малын тоо толгойд үндэслэн тооцоолсон (5-р зурагт харуулав). 2022 оны байдлаар Архангай аймаг 8,537,195,063 кВт.цаг, Хөвсгөл аймаг 7,921,211,011 кВт.цаг дулааны энергид хүрсэн байна.



4-р зураг. Монгол улсын сэргээгдэх эрчим хүчний нөөц бололцоо



5-р зураг. Таван хошуу малын гаралтай биомассын нөөцийг тухайн хот болон аймгийн нутаг дэвсгэрт эзлэх хувь

IV. ДҮГНЭЛТ

Манай улсын хувьд таван хошуу малын тоо 2022 оны байдлаар 71.1 сая бөгөөд өтөг бууцнаас гаргаж авах биомассын эрчим хүчний нөөц 89 ТВт.цаг байна. Энэ нь 2022 оны ТЭХС-ийн дулааны үйлдвэрлэлээс 4.7 дахин байна. Биомассын нөөцийн

ихэнх хувийг нүүдлийн мал аж ахуй бүрдүүлдэг ч үүнийг шууд аргаар хэрэглэсээр ирсэн. Сүүлийн жилүүдэд төв суурин газруудын хүн ам ихсэж байгаатай холбоотойгоор үхэр, ямаа, тахиа, гахайн фермүүд шинээр нэмэгдсээр байна. Фермээс ялгарах өтөг бууцанд пиролизын аргаар бионүүрс, био түлш, био хий гарган авч болно. Үүссэн бионүүрс нь нүүрстөрөгчөөр баялаг хатуу материал бөгөөд хөрсний үржил шим, нүүрстөрөгчийн шингээлтийг сайжруулах зорилгоор хөрсний нэмэлт болгон ашиглаж болно. Био тосыг тээврийн түлш болгон боловсруулж эсвэл химийн үйлдвэрлэлийн түүхий эд болгон ашиглаж болно. Био хийг дулаан эсвэл цахилгаан үйлдвэрлэх зорилгоор шатааж болно. Ингэж дахин ашиглах нь дулаан ба цахилгаан үйлдвэрлэх, хүлэмжийн ялгаралт, хөрс, усны аюулгүй байдлыг хангаж чадах боломжтой байна.

Таван хошуу малын гаралтай биомассын нөөцийг тодорхойлохын тулд дотоодын судалгаа, бусад эх үүсвэрүүдээс малын өтөг бууцны жилийн гарц болон илчлэгийн хэмжээг цуглуулж дундажласан. Биомассын нөөцийг нутаг дэвсгэрийн хувьд авч үзвэл Архангай, Хөвсгөл аймгууд нийт биомассын нөөцийн 10%, 9%-ийг эзэлж байна. Энэ нь эдгээр аймгуудад биомассын эрчим хүч гарган авах станцыг байгуулах боломжтойг харуулж байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

- [1] Э. х. з. хороо, “erc.gov.mn,” 25 February 2024. [Холбогдсон]. Available: <https://erc.gov.mn/web/mn/news/875>. [Нэвтэрсэн 26 February 2024].
- [2] “ASIAN DEVELOPMENT BANK,” 9 JUNE 2020. [Холбогдсон]. Available: <https://www.adb.org/mn/news/features/unlocking-mongolian-rich-renewable-energy-potential>. [Нэвтэрсэн 15 February 2024].
- [3] A. R. W. JENKINS, “BIOFUELS FOR AVIATION Feedstocks, Technology and Implementation,” %1-д Chapter 8: Pyrolysis of Biomass for Aviation Fuel, Joe Hayton, 2016, pp. 191-211.
- [4] E. J. Nyamgerel B., “Mongolia’s Biomass Resource in Agricultural Sector,” Innovation and Industrial Conference Proceedings, Ulaanbaatar, 2023.

- [5] P.Sarangerel, "The Potentials for BioenergyDevelopment in Mongolia," Ministry of Fuel and Energy, Mongolia, Ulaanbaatar, 2008.
- [6] Б. Н. Э.Энхцэцэг, Хатуу түлшний боловсруулалт, Улаанбаатар хот, 2019.
- [7] S. C. S. D. K. S. P. Pravin Kumar Sahu, "Combustion Characteristics of Animal Manures," 2016.
- [8] R. P. G. O. Ahmet Emrah Erdogan, "Engineering Science and Technology, an International Journal," Elsevier B.V, Karabak, Turkey, 2018.
- [9] R. J. E. Y. P. N. Malgorzata Wzorek, "Combustion behavior and mechanical properties of pellets derived from blends of animal manure and lignocellulosic biomass," Aydin, Turkey, 2020.12.08.
- [10] U. N. R. E. L. (NREL), "Mongolia's wind energy solar energy potential," 2022.
- [11] B. Ts, "Geothermal Resources In Mongolia And Potential Uses," 2001.

ХОЁР ДАЛБАНТ БАГА ОВРЫН САЛХИН ТУРБИНЫ PITCH БОЛОН YAW УДИРДЛАГЫН ЗАГВАРЧЛАЛ

С.Маргад¹, Д.Мөнхцэцэг¹, Г.Оргил¹, А.Ариунболд¹ М.Нүүдэл²

Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Шинэ Сэргээгдэх эрчим хүч салбар

*Холбогдох зохиогчийн и-мэйл хаяг: margad9914@gmail.com¹, munki2626@gmail.com¹, Orgil4448@gmail.com¹, altansukhariunbold7@gmail.com¹, nuudel@must.edu.mn²

Хураангуй— Салхины эрчим хүчийг үр ашигтай ашиглах нь эрчим хүчний үйлдвэрлэлийг оновчтой болгох, салхин турбины системийн бүтцийн бүрэн бүтэн байдлыг хангах нарийн хяналтын механизмыг шаарддаг. Энэхүү судалгааны ажлаар хоёр далбانت бага оврын салхин турбины pitch болон yaw удирдлагатай, далбангийн аэрофойлын нөлөөг харгалзан далбангийн элементийн загварчлалын аргыг танилцуулж байна. Загварчлалын үр дүн нь бага хурдтай болон өндөр хурдтай нөхцөлд салхин турбины гүйцэтгэл, үйл ажиллагааг урьдчилан таамаглахад туслах загварчлалын аргын үр нөлөөг харуулав. Цахилгаан эрчим хүчний сүлжээнээс алслагдсан айл өрхүүд, салхины хурд багатай Улаанбаатар хотын байршилд 10 минут тутмын салхилалтын нөөцийн тооцоог хийж, уг тооцоон дээр тулгуурлан хэвтээ тэнхлэгт салхин турбиний далбангийн хөндлөн огтлолын загварын сонголт хийв. Аэродинамик эсэргүүцэх, өргөх хүчнүүд, чадлын коэффициент болон тогтвортой найдвартай ажиллагаанд тулгуурлан 3 төрлийн далбангийн хөндлөн огтлолууд дээр харьцуулалт хийсний үндсэн дээр NASA 2412 загвар сонгов. Судалгааны үр дүнд pitch, yaw control системийг зохион бүтээх, оновчтой болгох талаар ойлголт өгөх замаар жижиг хэмжээтэй салхин турбин технологийг загварчиллаа.

Түлхүүр үг— аэродинамик тооцоо, pitch болон yaw удирдлага, далбангийн хөндлөн огтлол, хэвтээ тэнхлэгт салхин турбин

I. УДИРТГАЛ

Монгол улсын салхины эрчим хүчний нөөцийн атласыг 2001 онд АНУ-ын Сэргээгдэх эрчим хүчний лабораторийн (NREL) тусламжтайгаар боловсруулсан. Уг атласт зааснаар манай орны нийт нутаг дэвсгэрийн 160,000 км² талбай нь салхины эрчим хүчийг үйлдвэрлэлийн зориулалтаар ашиглах нөөцтэй гэж тогтоосон[1].

Салхины эрчим хүчний нөөц ихтэй бүс нутаг нийт нутаг дэвсгэрийн 10 хувийг эзэлж байна. Мөн дэлхий даяар байгаа салхины эрчим хүч нь дэлхийн эрчим хүчний хэрэглээнээс их байдаг[2]. Салхины эрчим хүчний нөөц сайтай бүс нутагт 1км² талбайгаас хамгийн багаар тооцоход 7 МВт эрчим хүч үйлдвэрлэх боломжтой юм [3].

Гэвч цахилгаан шугам сүлжээнээс алслагдсан, уул нуруудаар хашигдсан аймаг, сумд эрчим хүчний хэрэгцээ байсаар байна. Газар зүйн хувьд дэд бүтцээс алслагдсан газруудад цахилгаан эрчим хүчний эх үүсвэр ашиглах боломжгүй эсвэл зардал маш их байдаг. Харин алслагдсан газрын хувьд бага оврын салхин цахилгаан үүсгүүр ашиглаж цахилгаан эрчим хүчнийхээ хэрэгцээг хангах нь найдвартай бөгөөд эдийн засгийн хувьд ашигтай шийдэл болох юм[4].

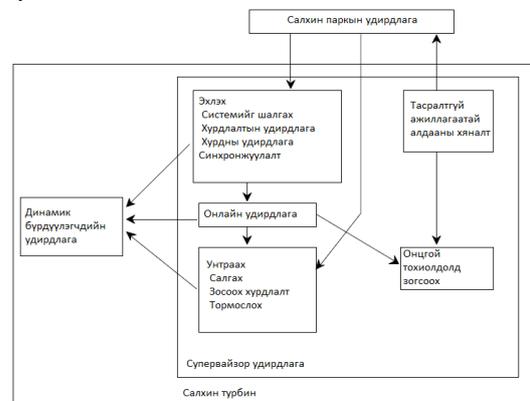
Манай орны хувьд 2013 оноос хойш том чадлын 3 салхин станцын нийт суурилагдсан хүчний чадал нь 155 МВт-ын хүчин чадалтай бөгөөд салхин турбин тус бүрийн хүчин чадал нь 2-2.2 МВт байна[5]. Эдгээр турбин нь том чадлын турбинд тооцогдох бөгөөд нэг бүрийн үйлдвэрлэлт болон үнэ өртгийн хувьд өндөр байдаг.

Салхин турбины үйлдвэрлэх эрчим хүчний хэмжээ нь тухайн станц байгуулах бүс нутгийн салхины хурд, нөөцөөс гадна турбины

ажиллагаанаас ихээхэн хамардаг. Салхин турбины үйлдвэрлэх цахилгаан энергийг нэмэгдүүлэхэд нөлөөлөх гол хүчин зүйл нь уг турбины хяналт, удирдлагын систем байдаг. Салхин турбины хяналт удирдлагад турбины далбангийн давших өнцгийг тохируулдаг pitch control system болон stall(yaw) control system юм.

Салхин турбины удирдлагын зорилт нь салхин турбины аюулгүй автомат ажиллагааг хангах, үйлдвэрлэлийг нэмэгдүүлэхэд оршиж байдаг. Салхин турбины удирдлагын системийг дараах гурван хэсэгт хуваадаг. Үүнд:

1. Салхин паркт байх олон тооны салхин турбинуудыг удирдах систем,
2. Салхин турбин бүрийг нэг нэгээр удирдах супервайзор систем,
3. Нэг турбины динамик систем тус бүрийг удирдах систем.



1-р зураг. Салхин турбины динамик удирдлагын схем

II. Онолын хэсэг

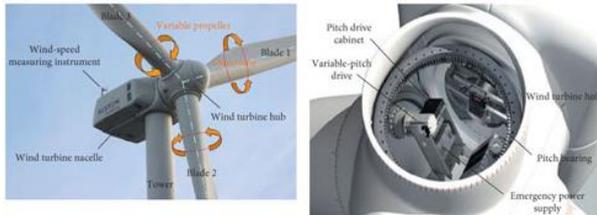
A. Салхин турбины тухай

Салхин турбин нь салхины кинетик энерги ашиглан байгальд сөрөг нөлөөгүй, цэвэр, тогтвортой цахилгаан эрчим хүч болгон хувиргадаг төхөөрөмж юм. Аэродинамик тооцоонд үндэслэн хийсэн салхин турбин нь салхины энерги хэрэглэн, хэрэглэгчдийг эрчим хүчээр хангахаас гадна төвийн сүлжээнд хувь нэмэр оруулах хүртэл янз бүрийн хэрэглээнд зориулж цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэх боломжтой байдаг. Байгаль орчинд ээлтэй, эдийн засгийн хувьд ашигтай шийдэл болох салхин турбин нь нүүрстөрөгчийн ялгаруулалтыг бууруулж, тогтвортой эрчим хүчний нөөцөөр ирээдүйн хөгжлийг урагшлуулахад чухал хувь нэмэр оруулах шийдэл юм.

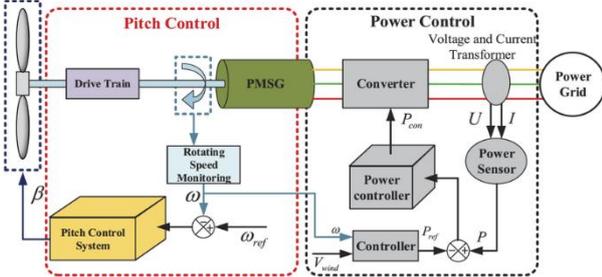
Салхины хувийн чадлын хэмжээнээс хамааруулан турбины далбангийн эргэлтийг зохистой хэмжээнд тохируулан ажиллуулахын тул салхин турбинд pitch болон stall тохируулгыг хийдэг.

Pitch Control system:

Турбины эргэлтийг улам үр нөлөөтэй болгох зорилгоор турбины булд далбанг бэхлэхдээ суурин дээрээ тодорхой өнцгөөр эргэж байхаар шийдсэнээр турбины хавтгайг далбангийн өнцгөөр тохируулахаас гадна далбанг суурин дээр нь эргүүлэх замаар бас нэмэлт тохируулга хийснээр давших өнцгийг хамгийн зохистой хэмжээнд хүргэж генераторыг хамгийн боломжит сайн хэмжээгээр ажиллах нөхцөлийг хангаж, цахилгаан энергийг их хэмжээгээр үйлдвэрлэх боломжийг олгодог.



2-р зураг. Салхин турбины pitch тохируулгын харагдах байдал



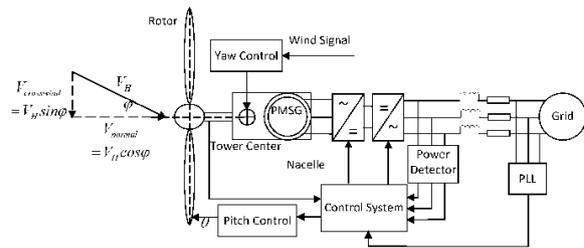
3-р зураг. Салхин турбины pitch тохируулгын системийн схем

Stall (yaw) Control system:

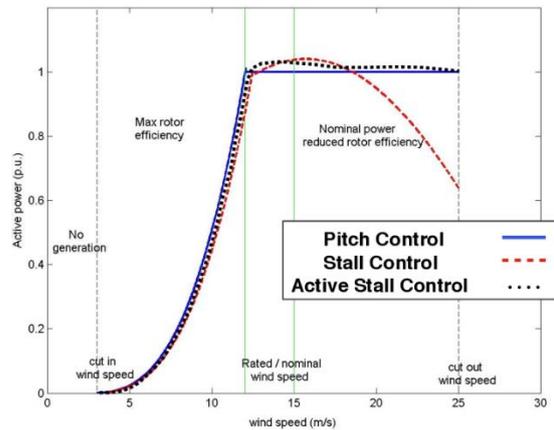
Далбангийн өнцгийг зохистой байдлаар тохируулан турбины буланд хөдөлгөөнгүйгээр бэхэлсэн эсвэл pitch тохируулгатай үед салхин турбины эргэлтийн хавтгайг салхины зонхилох чиглэл рүү чиглүүлэх тохируулгыг олгодог.



4-р зураг. Салхин турбины Yaw тохируулгын харагдах байдал



5-р зураг. Салхин турбины Yaw тохируулгын системийн схем



6-р зураг. Салхин турбины Yaw тохируулгын системийн схем

Салхин турбины ашигт ажиллагааг сайжруулах, үйлдвэрлэх эрчим хүчийг нэмэгдүүлэхийн тулд удирдлага хяналтын системийн хамгийн тохиромжтойгоор ашиглах шаардлага гардаг.

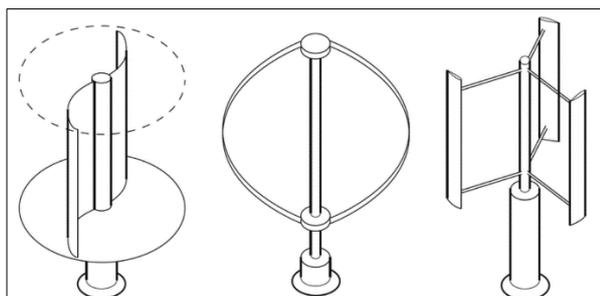
B. Салхин турбины төрлүүд

Салхин турбинийг хэвтээ тэнхлэгт ба босоо тэнхлэгт гэж хоёр ангилдаг.

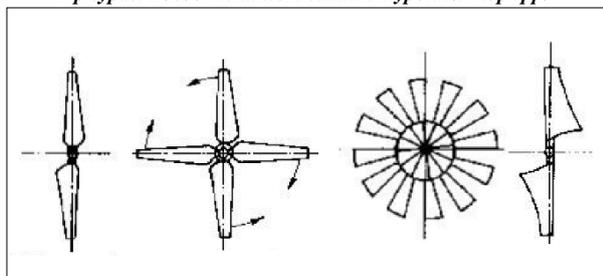
САЛХИН ТУРБИНЫ ТӨРЛҮҮД.

1-р ХҮСНЭГТ

Хэвтээ тэнхлэгт	Босоо тэнхлэгт
- Нэг/хоёр/гурван далбант турбин	- Өндгөн хэлбэрт Даррейгийн салхин турбин
- Олон далбант салхин хүрд	- Гурвалжин хэлбэрт Даррейгийн салхин турбин
- Эсрэг чиглэлд эргэдэг 2 роторт салхин турбин - Энфэйлд-Андрюгийн пневматик турбин	- Гримоллын салхин турбин
- Олон роторт салхин турбин гэх мэт	- Гадуураа хамгаалагч бүрхүүлтэй хавтгай далбант салхин турбин



7-р зураг. Босоо тэнхлэгт салхин турбины төрлүүд



8-р зураг. Хэвтээ тэнхлэгт салхин турбины төрлүүд

Цахилгаан эрчим хүчний үйлдвэрлэл ихтэй мөн загварчлалын хувьд илүү нарийн боловсруулалтад ордог учраас уг төслийн хүрээнд хэвтээ тэнхлэгт 2 далбаат салхин турбинийг авч үзсэн болно.

III. ТУХАЙН ГАЗРЫН ЦАГ УУРЫН ОНЦЛОГ, САЛХИНЫ ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ НӨӨЦИЙН ТООЦОО

Газар орны салхи, цаг уурын онцлогийг судлан, судалгааны үр дүнд үндэслэн тухайн газарт бүрэн тохирсон салхин турбинийг загварчлах боловсруулах боломжтой. Энэхүү судалгааны хүрээнд Улаанбаатар хотын орчинд тохирох салхин турбины загварчлалыг хийж гүйцэтгэсэн.

A. Цаг уур, амьсгалын судалгаа

Энэхүү байршил нь Монгол орны төв хэсэгт байрладаг хүн амын нягтаршил төвлөрсөн, аж үйлдвэр хөгжсөн хэдий ч бүх хэсгүүдээр цахилгаан түгээх сүлжээ жигд бус уулын орой хэсгүүдэд айл өрхүүд тог цахилгаан хязгаарлагдмал байдаг. Мөн өвлийн оргил ачааллын үед эрчим хүчийг тасалдаг нь хэрэглэгчдэд хүндрэл учруулж тогтвортой хангахад бэрхшээлтэй болдог.

B. Нөөцийн тооцоо

УЛААНБААТАР ХОТЫН САЛХИНЫ ХУРД БА ЧИГЛЭЛ, 12 САРЫН ДУНДАЖ ТЕМПЕРАТУРЫН ӨГӨГДӨЛ.

2-р ХҮСНЭГТ

Сар	Салхины хурд (м/с)	Салхины чиглэл	Температур (°C)
1	1.10	SW	-15.54
2	1.30	SSW	-12.51
3	1.47	WSW	-7.00
4	3.02	SW	4.90
5	0.99	WSW	9.08
6	1.40	SSW	16.09
7	2.12	SSW	18.37

8	2.35	SW	15.07
9	1.35	SW	9.55
10	1.24	WSW	-1.60
11	1.32	SW	-8.28
12	1.00	W	-19.86
Жил	1.55	SW	0.69

Агаарын даралт, температур, газарзүйн байршил зэргээс хамааран газар орон бүрд салхины чиглэл өөр өөр байдаг учир тухайн байршлын зонхилох чиглэлийг тодорхойлсон.

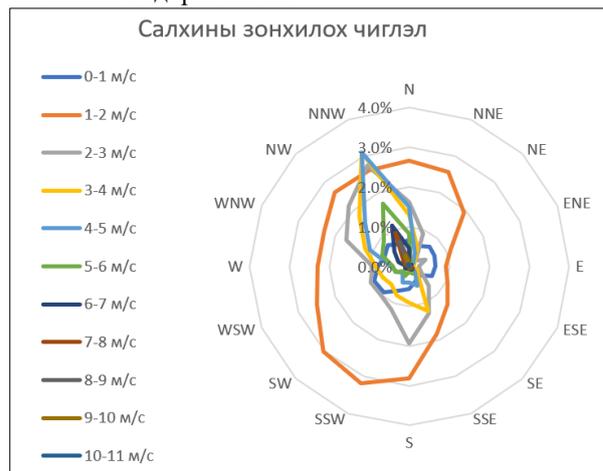


График 1. 0-12м/с хурдад салхины зонхилох чиглэлийг хувиар харуулсан график

Нөөцийн тооцооноос харахад уг газрын салхины дундаж хурд нь 1-2м/с салхитай, ихэнх үед баруун хойд зүгээс салхилдаг.

C. Салхины хурдны тархалтын Вейбуллийн функц

Газрын гадаргаас дээш өндрийн хэмжээ ихсэх тусам тухайн газрын салхины хурд ихсэж байдаг зүй тогтол нь бүх нутагт илэрдэг. Энэ нь тухайн нутгийн газар зүйн онцлог, газрын гадаргуугийн хотгор гүдгэр байдал, гадарга дээрх байшин барилга, өвс ургамал мөн хөрсний байдал зэргээс хамааран газрын гадаргуугаас дээших орон зайд байгаа агаар мандал нь харилцан адилгүй хурдтай нимгэн үеүдэд хуваагдах замаар оршиж байдаг юм. Ийм тул газрын гадаргуугаас тодорхой өндөрт байгаа салхины хурдыг

$$u = \frac{u_0 * (\frac{z}{z_{or}})}{\ln(\frac{z}{z_r})} \quad (1)$$

эсвэл

$$u = u_0 * (\frac{z}{z_{or}})^m \quad (2)$$

z – өндөрт буй үл мэдэгдэх салхины хурдны хэмжээ
z₀ - өндөрт буй мэдэгдэж байгаа салхины хурдны хэмжээ

m – зэрэг илтгэгч нь тухайн газрын физик газар зүйн нөхцөлийг илэрхийлэх коэффициент (говийн бүс - 0.19)

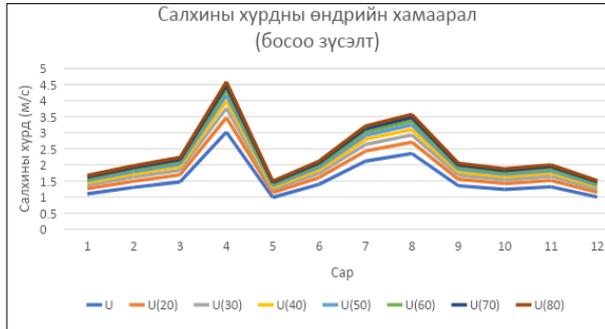


График 2. Салхины хурдны босоо зүсэлтийн хамаарлын график

Салхины хурдны давтамжийн тархалтыг $f(u)$ Вейбулийн функц ашиглан тодорхойлох боломжтой.

$$f(u) = \frac{k}{c} \left(\frac{u}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{u}{c}\right)^k} \quad (3)$$

Энд:

c – дундаж хурдтай хамаарсан хэмжээсний итгэлцүүр

k – салхины хурдны давтамжийн тархалттай шүргэлцсэн хэлбэршилтийн итгэлцүүр

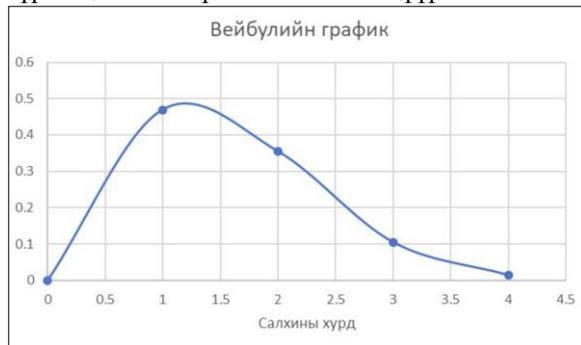


График 3. Улаанбаатар хотын салхины хурдны давтамжийн тархалт

IV. САЛХИН ТУРБИНИЙ АЭРОДИНАМИК ТООЦОО

A. Далбангийн хөндлөн огтлол буюу айрfoil сонголт

2 далбаат бага оврын салхин турбины pitch болон yaw удирдлагат загварчлалд NASA (National Advisory Committee for Aeronautics) буюу Аэронаутикийн Зөвлөх Үндэсний Холбооноос гаргасан айрfoilуудыг JavaFoil программ дээр харьцуулж, хамгийн ашигтай хувилбарыг нь сонгосон болно[3]. Энэхүү харьцуулалтын хувьд бид хэвтээ тэнхлэгтэй салхин турбинд өргөн тэнхлэгтэй салхин турбинд ашиглагддаг NASA6220, NASA2412, NASA0016 загварын айрfoilуудыг хооронд нь харьцуулж, Улаанбаатар хотод байгаль, цаг уурын нөхцөлд тохирсон, хэвтээ тэнхлэгт турбинд хамгийн тохиромжтой хувилбарыг нь сонгов. JavaFoil далбангийн симуляц программын тусламжтай далбан бүр дээр ирэх даралтын тархалтын харьцуулалт хийж үзэв.

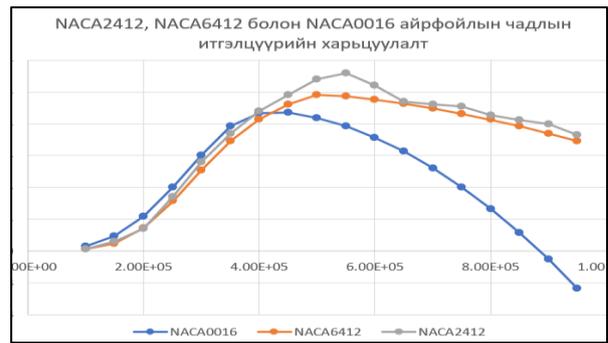
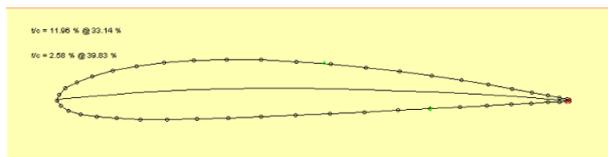
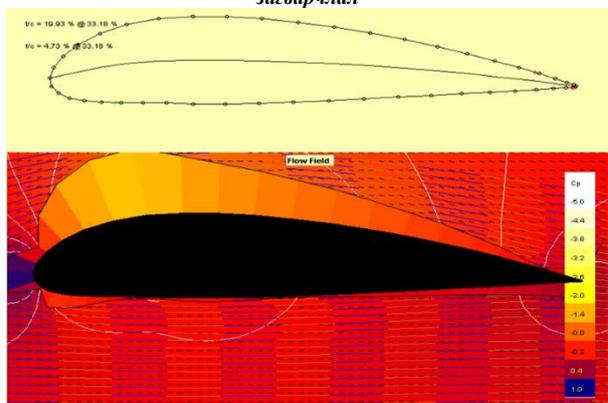


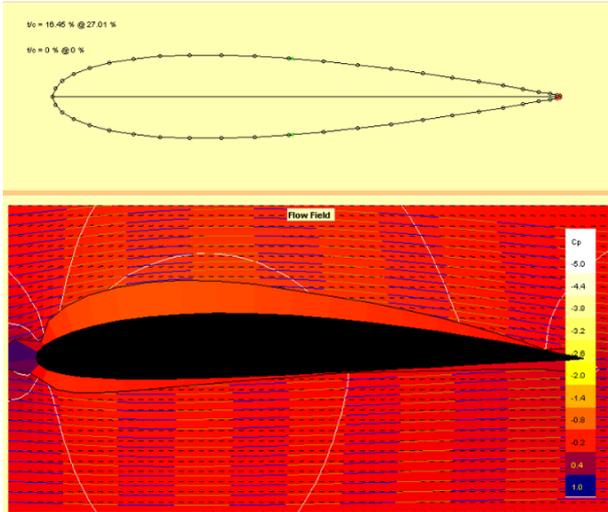
График 4. NASA2412, NASA6412 болон NASA0016 айрfoil-ийн чадлын итгэлцүүрийн харьцуулалт



9-р зураг. NASA 0016 Аэрfoil-ийн "Java foil" программ дээрх загварчлал



10-р зураг. NASA 6220 Аэрfoil-ийн "Java foil" программ дээрх загварчлал



11-Зураг. NASA 2412 Аэрофойлын “Java foil” программ дээрх загварчлал

Төслийн хүрээнд хэвтээ тэнхлэгтэй салхин турбинд өргөнөөр хэрэглэдэг гурван өөр төрлийн айрфойл дээр харьцуулалт хийсний үр дүнд цаг уурын нөхцөлд хамгийн тохирсон айрфойлын сонголт нь **NACA2412** юм. Учир нь NACA2412 нь NACA0016-тай харьцуулахад ашигт үйлийн коэффициент сайтай ба NACA6220-аас бат бөх, тэсвэр сайтай, илүү тогтвортой байдаг. Далбангийн хэлбэрийг сонгохдоо Хөндлөн огтлолыг уртын дагуу ямар нэгэн өөрчлөлтгүй байхаар сонгосон. Энэ нь турбиний далбан нь бага хурдны салхины нөлөөллөөр эргэх боломжийг илүү олгодог.

В. Далбангийн хөндлөн огтлол буюу айрфойлын тооцоо

Тооцооны үр дүнд далбангийн хөндлөн огтлол буюу айрфойлын геометр хэлбэрийн буюу тэдгээрийн цэгүүдийг гаргаж авсан.

- Далбангийн аэрофойлын параметруудийг тодорхойлох:

$$m = \frac{1}{100} = 0.01 \text{ - далбангийн нумралтын хэмжээ} \quad (4)$$

$$p = \frac{6}{10} = 0.6 \text{ - хамгийн их нумралтын цэгийн байрлал} \quad (5)$$

$$t = \frac{22}{100} = 0.22 \text{ - далбангийн хамгийн их зузаан} \quad (6)$$

- Далбангийн аэрофойлын нумралтын дундаж шугам буюу төв шугамыг тодорхойлох

Ингэхдээ хэвтээ тэнхлэгийн дагуу хорд буюу далбангийн хөвчийн уртыг авч, босоо тэнхлэгийн дагуу далбангийн шугамын цэгүүдийг байршуулна.

$$\begin{cases} y_c = \frac{m}{p^2}(2px - x^2) & 0 \leq x \leq p \\ y_c = \frac{m}{(1-p)^2}[(1-p) + 2px - x^2] & p \leq x \leq 1 \end{cases} \quad (7)$$

- Далбангийн аэрофойлын зузааныг тодорхойлох

$$y_t = \frac{t}{0.2}(a_0\sqrt{x} - a_1x - a_2(x)^2 + a_3(x)^3 - a_4(x)^4) \quad (8)$$

- Далбангийн дээд болон доод гадаргуугийн цэгийн координат
- Нумарсан дундаж шугам буюу төв шугам болон далбангийн аэрофойлын зузааныг ашиглан олно.
- Далбангийн дээд гадаргуугийн цэгийн байршил

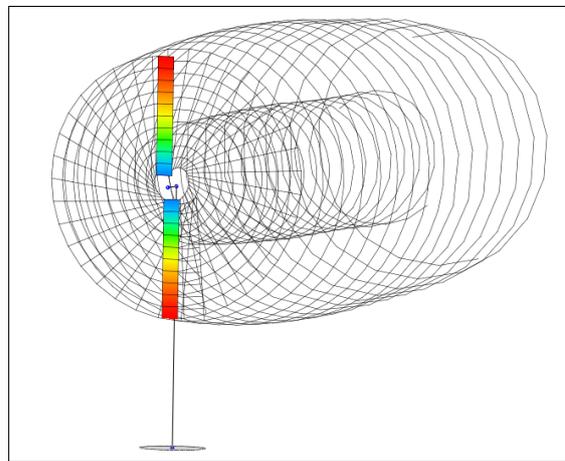
$$\begin{aligned} x_j &= x + y_t \sin \theta \\ y_j &= y_c - y_t \cos \theta \end{aligned} \quad (9)$$

- Далбангийн доод гадаргуугийн цэгийн байршил

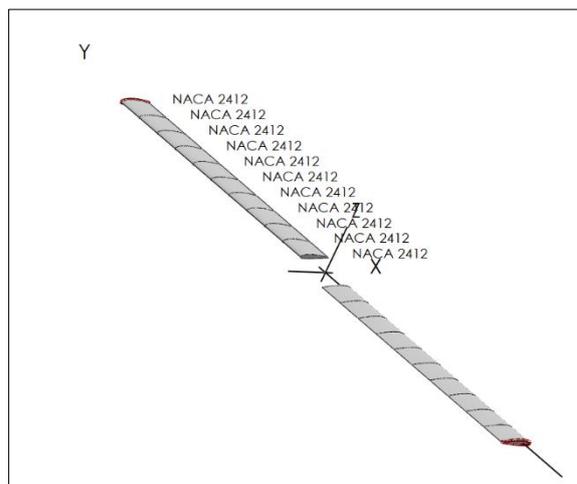
$$\begin{aligned} x_j &= x - y_t \sin \theta \\ y_j &= y_c + y_t \cos \theta \end{aligned} \quad (10)$$

- Дээд болон доод цэгийн шүргэгч Θ өнцгийг олох

$$\theta = \arctan \frac{dyc}{dx} \quad (11)$$

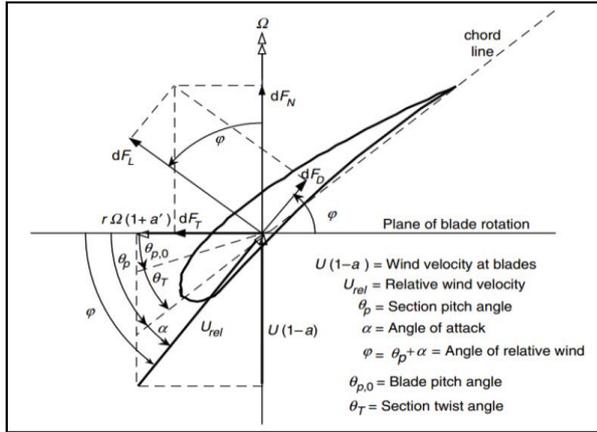


12-Зураг .Салхины үйлчлэлээр далбан дээр ирэх аэродинамик агаарын хуйлрал



13-Зураг . NASA 2412 Аэрофойлын хөндлөн огтлолоор загварчилсан салхин далбан

С. Далбанд нөлөөлөх аэродинамик хүчнүүд



14-Зураг. Далбанд нөлөөлөх аэродинамик хүчнүүд

Өгөгдсөн цэг хүртэлх зай буюу радиус

$$r = (r/R) \times R$$

Өгөгдсөн цэг буюу радиус дахь хурдлалтын тоо

$$\lambda_r = (r/R) \times \lambda$$

Харьцангуй салхины өнцөг

$$\phi = \arctg\left(\frac{2}{3\lambda_r}\right)$$

Хорд буюу далбангийн өргөн

$$c = \frac{8\pi r \sin\phi}{3B C_l \lambda_r}$$

Далбааны мөргөх өнцөг

$$\theta_p = \phi - \alpha$$

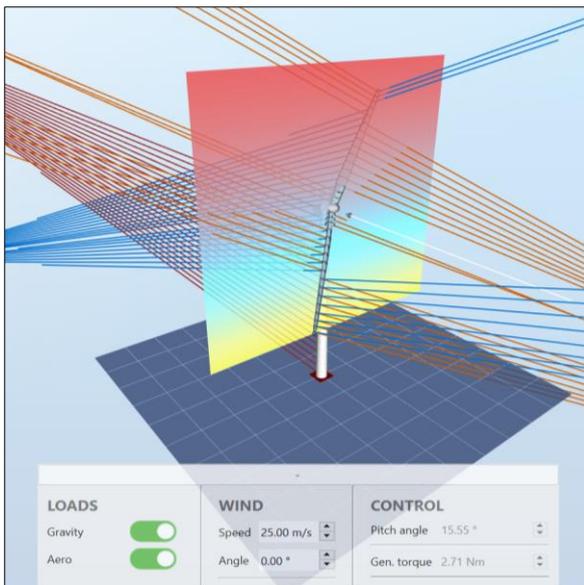
Далбааны мушгиралтын өнцөг

$$\theta_T = \theta_p - \theta_{p,0}$$

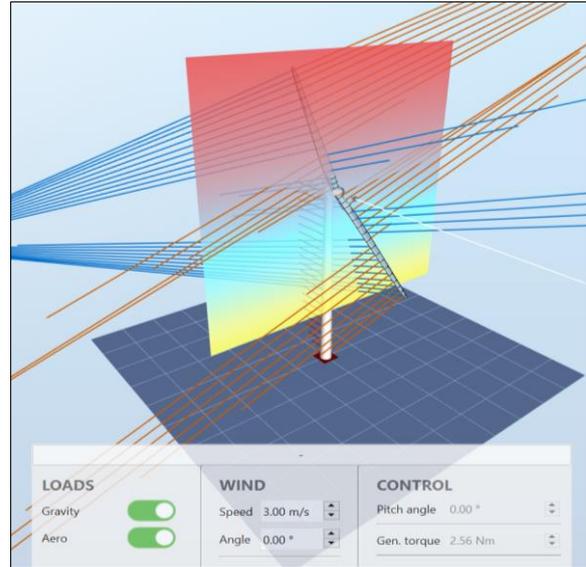
V. САЛХИН ТУРБИНИЙ СИМУЛЯЦИ

A. Далбангийн хөндлөн огтлол буюу айрфойл сонголт

Гол зорилго салхин турбины pitch болон уав удирдлагын системийг ашиглах.



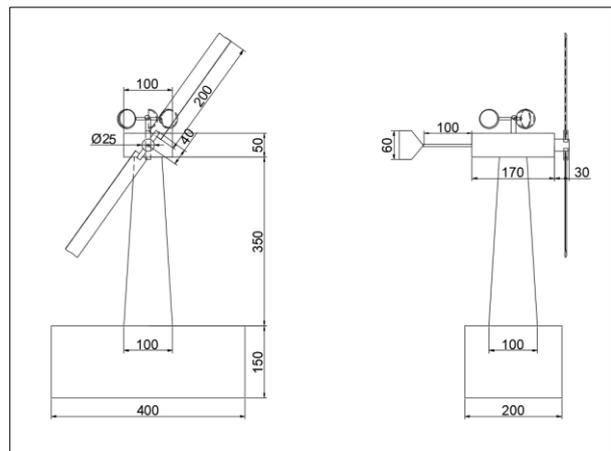
15-Зураг. Ashes программ дээрх 25м/с хурдтай үеийн симуляци



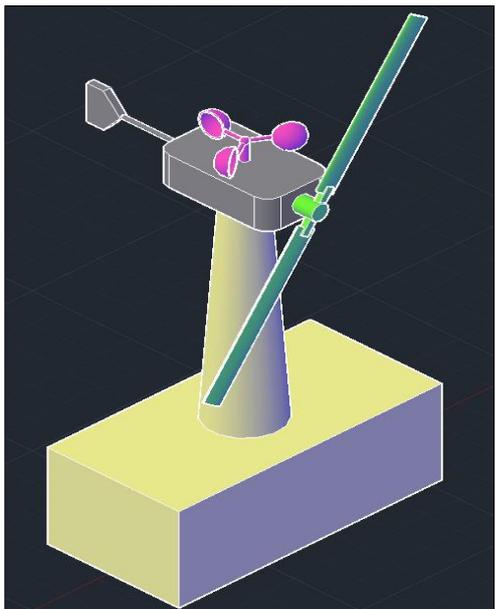
16-Зураг. Ashes программ дээрх 3м/с хурдтай үеийн симуляци

Симуляци хийснээр цаг агаарын эрс тэс нөхцөлөөс шалтгаалсан механик гэмтэл, дутуу гүйцэтгэл зэрэг болзошгүй асуудал, эрсдэлийг байршуулахаас өмнө мэдэж, шийдвэрлэх боломжийг олгосон ингэснээр 25 м/с-ээс дээш хурдтай салхинд pitch тохируулгаа 15.55° градусын өөрчлөлтөөр эвдрэлгүй даван гарах, зардал ихтэй сул зогсолтын эрсдэлийг бууруулна. Далбангийн хэлбэр хийцлэл зөв байснаар (тухайн газар орондоо таарсан) турбин цахилгаан энерги үйлдвэрлэхэд илүү тогтвортой болох гол үндэс болдог. Хоёр далбаат салхин турбин нь гурван далбаат салхин турбинтай харьцуулахад салхины хурд бага үед илүү эрчим хүч үйлдвэрлэдэг, дуу чимээний хувьд бага тул хүн амын нягтаршил их газруудад ч суурилуулахад тохиромжтой.

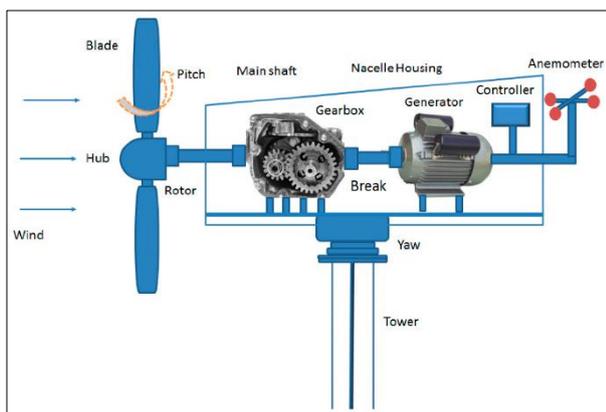
B. Бүтээлийн 3D загварчлал



17-Зураг. Бүтээлийн хэмжээс



18-Зураг. Бүтээлийн харагдах байдал



19-Зураг. Салхин турбины Pitch тохируулгын системийн схем

ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгааны ажил нь бага оврын салхины эрчим хүчийг илүү тогтвортой, үр дүнтэй ашиглахын тулд хэвтээ тэнхлэгт салхин турбиний далбангийн загварыг тухайн газарт бүрэн тохирсон байдлаар загварчлав.

Судалгаагаар гурван төрлийн НАСА айрфойл сонгон авч харьцуулсан бөгөөд (график-5) чадлын коэффициент буюу ашигтай ажиллагаа хамгийн их, аэродинамик тогтвортой ажиллагааны хувьд илүү хувилбарыг сонгов. Далбангийн загварчлалыг хийхдээ 10-н секторт хуваасан бөгөөд тэгш өнцөгт хэлбэрийн 2 далбант, хөндлөн огтлолыг НАСА2412 маркийн тооцооны үр дүнд бий болсон айрфойлоор загварчлав.

Pitch болон Yaw тохируулагат удирдлагатай салхин турбины загварчлал салхин турбин дахь налалт, хазайлтыг хянах систем нь далбангийн өнцөг болон турбины чиглэлийг салхины чиглэлд тохируулах замаар эрчим хүчний үйлдвэрлэлийг оновчтой болгодог. Эдгээр систем нь турбины гүйцэтгэл, урт наслалт, сэргээгдэх эрчим хүчний өрсөлдөх чадварыг сайжруулах боломжтой.

Судалгааны хүрээнд салхин турбины pitch болон stall(yaw)- удирдлага тохируулгын системийг программ хангамж дээр загварчилсан ба мөн энэхүү тооцооны хүрээнд гүйцэтгэсэн 2 далбанд салхин турбин ажиллагааны зарчмыг модель загвар дээр хийж гүйцэтгэсэн. Энэхүү модель загвар дээр Ардиуно ашиглан серво моторын удирдлагыг ашиглаж гүйцэтгэсэн.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

- [1] Батмөнх С. Монголын нөхцөлд нарны энергийг дулаанд хувиргах технологийн онол, практикийн үндэс. “Соёмбо принтинг” хэвлэлийн газар, Улаанбаатар, 2014. 371 х
- [2] М.Лигдэн, Салхины энерги 1, Улаанбаатар, 2008.
- [3] Монгол Улсын сэргээгдэх эрчим хүчний үндэсний төв, АНУ-ын сэргээгдэх эрчим хүчний лаборатори, “Монгол Улсын сэргээгдэх эрчим хүчний нөөц” хамтарсан тайлан, 2007
- [4] Хэвтээ тэнхлэгт бага оврын салхин турбиний далбанг загварчлах судалгаа. Э.Номондалай 2023
- [5] Archer C. L., Jacobson M. Z. (2005). "Evaluation of Global Wind Power". Journal of Geophysical Research, D12110.
- [6] A Simple Mechanical Pitch To Stall Speed Control Mechanism For A Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)
- [7] M. Erdenebat, B. Galsan, H. Shuang and M. Chimed, "Wind Energy Resource Assessment of the South Gobi region in Mongolia," \$2020\$ IEEE Region 10 Symposium (TENSYP), 2020, pp. 535-538, doi:10.1109/TENSYP50017.2020.9230859. J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–7
- [8] A Basic Approach for Designing Pitch, Yaw and Supervisory Control System of Wind Turbine. Md.Muhie Menul Haque
- [9] Q-Blade, Design and simulation of wind turbine blade.
- [10] Ashes, analysis of wind turbine
- [11] Pitch Control of Wind Turbine. Borhen Torchani
- [12] Review of Different Control Techniques used for Pitch Control of Horizontal Axis Wind Turbine
- [13] Control Methods for Horizontal Axis Wind Turbines (HAWT): State-of-the-Art review
- [14] Yaw Systems for wind turbines – Overview of concepts, current challenges and design methods
- [15] Wind Energy: A Review Paper

ECO TREE АВТОМАТ ЦЭНЭГЛЭЛТИЙН ЦЭГИЙН ХӨГЖҮҮЛЭЛТИЙН СУДАЛГАА

Э. Төгөлдөр¹, М. Нүүдэл²

¹ Монгол Улсын Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургууль, Эрчим Хүчний Сургууль

² *Холбогдох зохиогчийн и-мэйл хаяг: e.tugldr0220@gmail.com¹, nuudel@must.edu.mn²

Хураангуй – Гудамжны гэрэлтүүлэг нь явган зорчигч, жолооч нарын аюулгүй байдлыг хангадаг орчин үеийн хотын дэд бүтцийн чухал хэсэг юм. Гэсэн хэдий ч сүлжээний цахилгаанаар ажилладаг гудамжны уламжлалт гэрэл нь өртөг өндөртэй бөгөөд хүлэмжийн хийн ялгаруулалтыг нэмэгдүүлэхэд хувь нэмэр оруулдаг. Нарны эрчим хүчээр ажилладаг гудамжны гэрэлтүүлгийг ашиглах нь энэ асуудлыг шийдвэрлэх тогтвортой, хэмнэлттэй шийдэл болсон. Түүнчлэн гар утас, цахилгаан дугуй зэрэг электрон төхөөрөмжүүдийг цэнэглэх нэмэлт функцийг нэмснээр олон нийтэд үнэ цэнтэй үйлчилгээ үзүүлэн жилд 5тонн гаруй нүүрсхүчлийн хийг ялгаруулахаас сэргийлэх буюу 5000кВт.ц ногоон эрчим хүч үйлдвэрлэн ашиглах боломжтой.

Түлхүүр үг – Нарны эрчим хүч, бие даасан эрчим хүчний систем, гар утасны цэнэглэгч, гудамжны гэрэлтүүлэг

I. ОРШИЛ

Энэхүү судалгаанд хот суурин газар болон олон төрлийн байршилд хэрэглэгчдийн гар утас, цахилгаан дугуйг цэнэглэх чадвартай нарны эрчим хүчээр ажилладаг гудамжны гэрэлтүүлгийн системийн үр ашиг, боломжит хувилбарын талаарх судалгааг хийж гүйцэтгэлээ. Нарны эрчим хүчээр ажилладаг гудамжны гэрэлтүүлэг нь эрчим хүчний хэмнэлт, бат бөх чанар, аюулгүй, найдвартай гэрэлтүүлгээр хангах, мөн цахилгаан төхөөрөмжийг цэнэглэх зэрэг олон боломжууд ыг харуулна. Энэхүү судалгааны үр дүн нь нарны эрчим хүчээр ажилладаг гудамжны гэрэлтүүлгийг хотын гэрэлтүүлгийн хэрэгцээнд тогтвортой, практик шийдэл болох боломжийн талаар үнэ цэнтэй ойлголтыг өгөхийн зэрэгцээ олон нийтийн тав тухыг нэмэгдүүлэх болно. Сүүлийн жилүүдэд байгальд ээлтэй, эрчим хүчний хэмнэлттэй байдлаас шалтгаалан манай улс оронд ч цахилгаан унадаг дугуйн хэрэглээ түгээмэл болсон. Гэсэн хэдий ч цахилгаан унадаг дугуйчдын хамгийн том сорилт бол цэнэглэх станц олох явдал юм. Үүний нэгэн адил өнөөгийн нийгэмд аливаа үйл ажиллагаа гар утаснаас хамааралтай болохын хэрээр тухайн гар утасны цэнэг хадгалалт, цэнэглэх цэгүүдийг зохистой байдлаар шийдвэрлэх зайлшгүй шаардлагатай болсон. Эдгээр цахилгаан тоног төхөөрөмжүүдийг цэнэглэхийн тулд нарны эрчим хүчээр ажилладаг гудамжны гэрэлтүүлгийн системийг ашиглах санаа нь дээрх сорилтыг тогтвортой шийдвэрлэх алхам юм. Энд санал болгож буй шийдлийн боломж, үр дүнтэй байдалд дүн шинжилгээ хийх болно. Энэ нь нарны эрчим хүчээр ажилладаг гудамжны гэрэлтүүлгийн цогц системийн дизайн, эд анги, ажиллагаа зэрэг системийн техникийн талыг судлах болно.

Бидний судалгаагаар гаргасан нарны эрчим хүчээр ажилладаг гудамжны гэрэлтүүлгийн системийг хот суурин газар, аж ахуй нэгжийн ойролцоо ашигласнаар тухайн хэсгийн ойр орчмын гэрэлтүүлэг, өнгө үзэмж, тохижилтын асуудлыг шийдээд зогсохгүй тухайн хэсгээр зорчин өнгөрч буй хэрэглэгчдийн гар утсыг цэнэглэх, бага чадлын цахилгаан хөдөлгүүрийг цэнэг, мөн цаашлаад

шаардлагатай мэдээ мэдээллээр хангах бүрэн боломжтой болно.

II. ДЭЛХИЙ НИЙТИЙН ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ ХЭРЭГЛЭЭНИЙ ЧИГ ХАНДЛАГА

A. Дэлхий нийтийн эрчим хүчний хэрэглээ

Хүн амын тоо, Эдийн засаг технологийн дэвшлийг дагаад үйлдвэрлэж буй, хэрэглэж буй цахилгаан эрчим хүчний хэмжээ маш их нэмэгдэж байна.

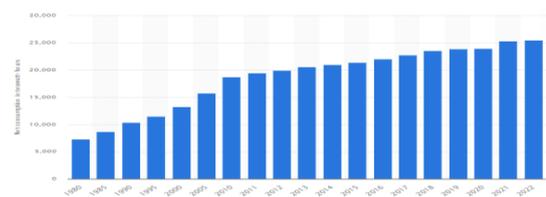


График 1. Дэлхийн нийт ашиглаж буй цахилгаан эрчим хүчний хэмжээ 1980-2022

Дэлхийн нийт эрчим хүчний хэрэглээний 2-3 хувийг гудамжны гэрэлтүүлэг эзэлдэг байна. Орчин үед гудамжны гэрлийг сэргээгдэх эрчим хүчний үүсгүүрээр шийдэж байгаа нь байгаль экологи болон хотын дэд бүтцэд онцгой ач холбогдолтой билээ. Одоогийн байдлаар дэлхий нийтийн үйлдвэрлэж байгаа болон хэрэглэж байгаа эрчим хүчний 15 хувийг сэргээгдэх, 85 хувийг уламжлалт цахилгаан үүсгүүрээр шийдэж байгаа [1] ба зөвхөн гудамжны гэрэлтүүлэгт л 600 сая гаруй тонн нүүрсхүчлийн хий байгальд ялгардаг

B. Монгол улс, Улаанбаатар хотын эрчим хүчний хэрэглээ

Улаанбаатар хотын хувьд 2023 оны байдлаар 1673000 хүн амтай бөгөөд НҮБ-ын тооцоогоор энэ тоо 2035 оны байдлаар 1900000 хүн амтай болно гэж дүгнэж байна[2]. Орчин цагт хүн төрөлхтний өдөр тутмын хэрэгцээг цахилгаан эрчим хүчгүйгээр төсөөлөхийн аргагүй болсон. Монгол улсын хэмжээнд нэг хүнд ногдох цахилгаан эрчим хүчний хэмжээ 2014 оны байдлаар 2032кВт.ц байгаа ба энэ хэмжээ жил ирэх бүр өсөн нэмэгдсээр байна.

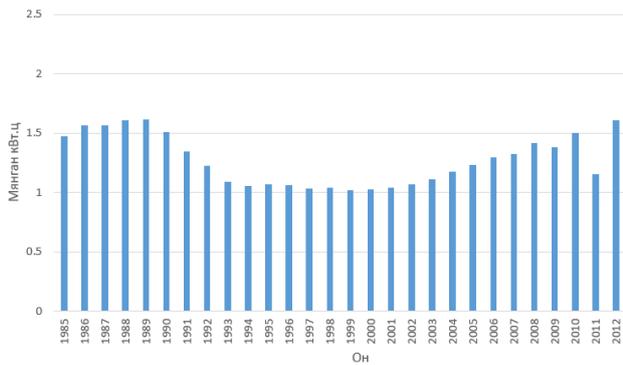


График 2. Монгол улсын нэг хүнд ногдох цахилгаан эрчим хүчний хэмжээ. (Мянган кВт.ц) 1985-2014

С. Гэрэлтүүлэг

Улаанбаатар хотод 90 мянга гаруй гудамжны гэрэлтүүлгийн хэрэгцээ шаардлагатай байгаа бөгөөд 2020 оны байдлаар 70 гаруй мянган гэрэлтэй цэг байна[3]. Энэхүү тоо судалгаа хийгдсэнээс хойш өсөн нэмэгдсээр байгаа бөгөөд 220В-н sodиум лампуудыг хэрэглээнээс хасаж орчин үеийн буюу бага чадлын LED гэрлүүдийг орлуулсаар буй. LED гэрэл нь эрчим хүчний хэрэглээ багаас гадна гэрэлтүүлэлтийн хэмжээ ердийн лампаас их бөгөөд ашиглалтын хугацаа ижил чадлын лампаас 10 дахин их байх нь ч бий.

Гэрэлтүүлэг нь Монгол улсын чанар стандартын дагуу UCS1902B:2022 “Гэрэлтүүлэгт тавих ерөнхий шаардлага”[5] хотын стандарт, UCS1902A:2022 “Гэрэлтүүлэх төхөөрөмжийг байрлуулах суурилуулах технологийн удирдамж” зэргийг дагаж мөрдөн суурилагдана. [6]

ШОНГИЙН ӨНДРИЙГ ХАМРУУЛСАН АНГИЛАЛ[7]

1-Р ХҮСНЭЛТ

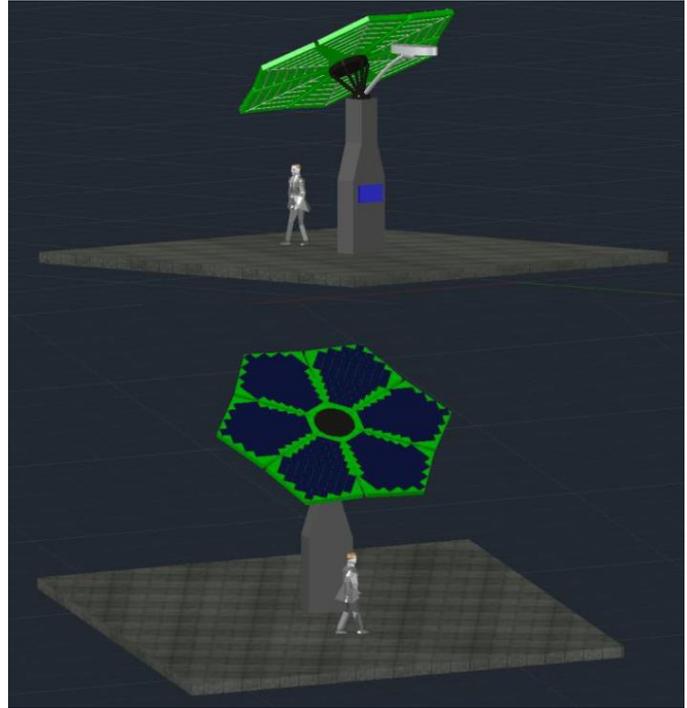
№	Гэрэлтүүлгийн шонгийн нэр	Хэмжээ (метр)
1	Өндөр шон	15-40
2	Дундаж өндөртэй шон	12-15
3	Авто замын гэрлийн шон	6-12
4	Цэцэрлэгт хүрээлэнгийн гэрлийн шон	2.5-5
5	Зүлэг ногоон байгууламжийн шон	0.6-0.8

III. ТӨХӨӨРӨМЖИЙН ОНЦЛОГ, ДАВУУ ТАЛ

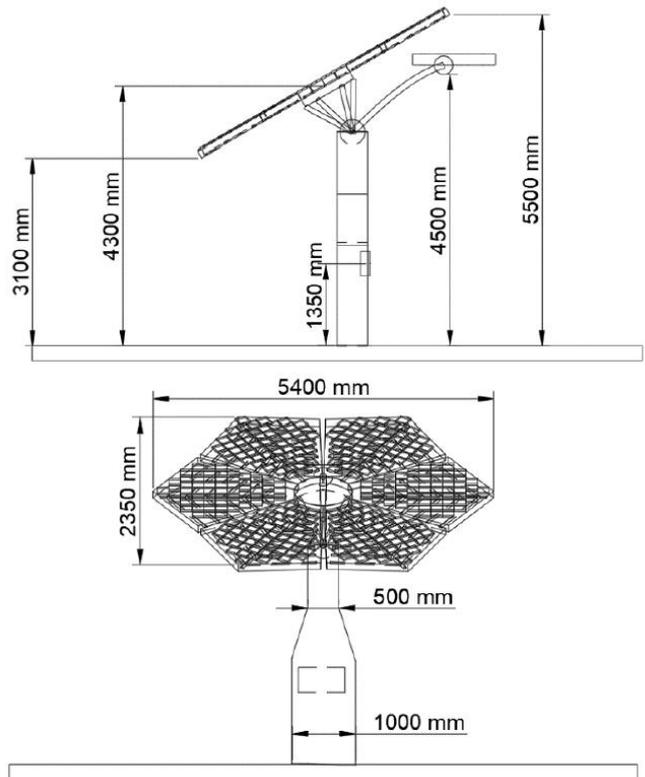
А. Eco tree цэнэглэлтийн цэг

Энэхүү Eco Tree гудамжны гэрэлтүүлгийн төхөөрөмж нь дан ганц гудамжны гэрэлтүүлгийн үүрэг гүйцэтгээд зогсохгүй цахилгаан дугуй цэнэглэх, гар утас цэнэглэх мөн цахим мэдээллийн самбар байршуулан тухайн байршилтай ойр хоолны сүлжээ газрууд, тухайн цагийн болон ойрын өдрүүдийн цаг агаарын мэдээллүүд замын түгжрэл хараад зогсохгүй такси дуудах зэрэг

үйлчилгээнүүдийг авч болохоор байгаа нь маш том давуу талуудыг үзүүлнэ



1-р зураг. Eco tree төхөөрөмжийн шийдэл



2-р зураг. Төхөөрөмжийн хэмжээ

Төхөөрөмжийн суурийн баганын хойд талд газраас 1.35 метрийн өндөрт төвтэй дэлгэц байрлах

ба дэлгэцийн дээр бороо уснаас хамгаалах хаалт байрлуулна. Тухайн дэлгэцээр утас цэнэглэх, цахилгаан дугуй цэнэглэх төлбөр авах функцтай мөн тухайн өдрийн ба ойрын 10 хоногийн цаг агаарын мэдээлэл, ойр байрлах хоолны газар, банк зэрэг хэрэгцээтэй мэдээллүүд түүнчлэн такси дуудах үйлчилгээнүүд багтах юм. Утас болон цахилгаан дугуй цэнэглэх үед цэнэглэсэн хугацаагаар бус хэрэглэсэн эрчим хүчний хэмжээгээр төлбөр хэрэглэгчийн хаягаас хасагдахаар зохицуулагдана. Өөрөөр хэлбэл тухайн хэрэглэгч урьдчилан гар утсан дээрээ суулгасан application-г мөнгөн дүнгээр цэнэглэж авсан үйлчилгээнийхээ хэмжээний төлбөр суутгагдах юм.

Энэхүү төхөөрөмжийг байрлуулснаар олон талын давуу талуудтай байна. [8]

- Нарны эрчим хүч зэрэг сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсвэрийг ашигладаг гудамжны гэрэл нь чулуужсан нүүрсний хараат байдлыг бууруулж, тогтвортой ирээдүйг дэмжихэд тусалдаг.
- Сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсвэрийг ашигласнаар гудамжны гэрэл нь нүүрстөрөгчийн ялгаруулалтыг бууруулж, байгаль орчныг цэвэр байлгахад тусална.
- Нарны эрчим хүчээр ажилладаг гудамжны гэрэлтүүлэг нь сүлжээнд холбогдох шаардлагагүй бөгөөд энэ нь тогтмол цахилгааны зардлыг арилгах болно.
- Цахим дугуй зэрэг байгальд ээлтэй гэврийн хэрэгслийг дэмжих нь агаарын бохирдлыг бууруулж, агаарын чанарыг сайжруулахад тусална.
- Нарны эрчим хүчээр ажилладаг гудамжны гэрэл нь хамгийн бага засвар үйлчилгээ шаарддаг бөгөөд цахилгааны эх үүсвэрт холбогдох шаардлагагүй тул засвар үйлчилгээний зардлыг бууруулдаг.
- Гялбаа багатай LED гэрлийг ашигласнаар гудамжны гэрэл нь гэрлийн бохирдлыг бууруулж, ан амьтдад үзүүлэх нөлөөллийг багасгахад тусална.
- Нарны эрчим хүчээр ажилладаг гудамжны гэрлүүд нь уламжлалт гудамжны гэрлээс илүү урт байдаг тул ойр ойрхон солих хэрэгцээг багасгадаг.
- Сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсвэрийг ашиглах нь байгалийн гамшиг эсвэл цахилгааны тасалдалтай тулгарах үед олон нийтийг илүү тэсвэртэй болгож чадна.
- Сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсвэрийг ашигласнаар гудамжны гэрэл нь дамжуулах явцад эрчим хүчний алдагдлаас сэргийлж, илүү үр ашигтай ашиглах боломжийг олгодог.

Гудамжны гэрэлтүүлэгт өргөнөөр ашиглагддаг Modular led light төрлийн гэрлийг сонгон үндсэн төвд

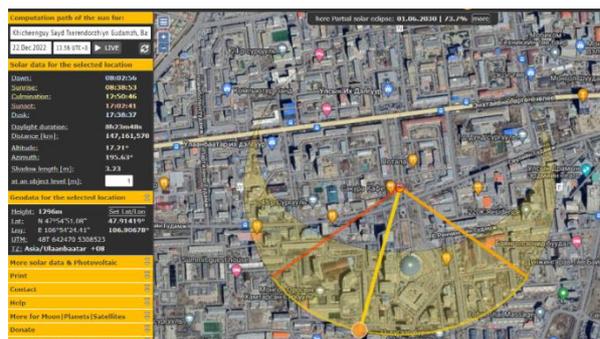
байрлуулах бөгөөд гэрлийн өнгийг 4000 Кельвин, гэрэлтүүлэлтийг 4000-5000 Люменээр тооцов. [9]



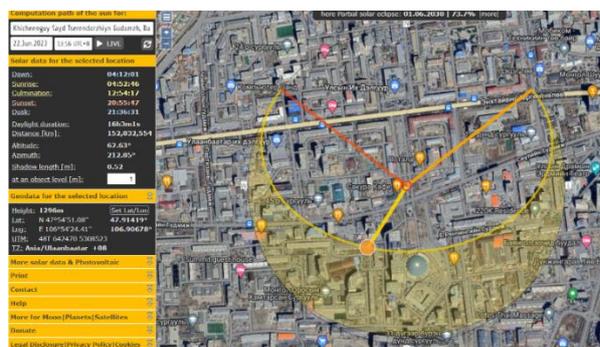
3-р зураг. Modular Led Light суурилагдсан байдал.

В. Суурилуулах газарзүйн онцлог

Төслийн хүрээнд хамгийн тохиромжтой байрлал нь хүний хөл хөдөлгөөн ихтэй, гэрэлтүүлэг болон дээр дурдсан үйлчилгээнүүд хамгийн ихээр шаардагдах газруудаас[10] Сүхбаатар дүүргийн 4-р хороонд байрлах Хичээнгүй сайд Цэрэндоржийн гудамжинд байрлуулан тооцоог хийв. Энэ байрлал нь нарны цахилгаан үүсгүүр байрлуулахад тохиромжтой ба сүүдэрлэлт хамгийн бага байхаар төхөөрөмжийг System Advisor Model программд загварчиллаа.



4-р зураг. Тухайн байршилд өвлийн туйлд нар мандах, жаргах онцог



5-р зураг. Тухайн байршилд зуны туйлд нар мандах, жаргах онцог.

С. Нарны нөөцийн тооцоо

Төхөөрөмжийн налалтын өнцгийг хамгийн ашигтай өнцгөөр байрлуулдаг. Байршлын хувьд хойд өргөргийн 47.914 хэмд оршдог бөгөөд энэ байрлалд хэдэн хэмийн налуу гадаргууд нарны цацраг хамгийн их ирэх вэ гэдгийг Лью-Жорданы аргаар хийж гүйцэтгэв. Лью-Жорданы аргаар тооцоог гүйцэтгэхэд хэрэглэх өгөгдөл нь байршлын өргөрөг $\phi=47.914$, мөн турших төхөөрөмжийн налалтын өнцөг $m=45$ хэм мөн хэвтээ гадаргууд тусах нарны нийлбэр цацраг Q_6 (NREL –ийн сансарын хэмжилтийн өгөгдлийг ашиглана)

Нарны хазайлтын өнцөг δ

$$\delta = 23.45 \cdot \sin\left(\frac{360 \cdot (284 + n)}{365}\right) \quad (1)$$

n – Тухайн өдрийн дугаар 1-р сарын 1-ээс 1 гэж тоолно

Хэвтээ гадаргуу дээрх нар жаргах үеийн өнцөг ω_x

$$\omega_x = \arccos(-\text{tg}\phi \cdot \text{tg}\delta) \quad (2)$$

Налуу гадаргуу дээрх нар жаргах үеийн өнцөг ω_n

$$\omega_n = \arccos(-\text{tg}(\phi - m) \cdot \text{tg}\delta) \quad (3)$$

Агаар мандлын гадна хэвтээ гадаргууд тусах нарны нийлбэр цацраг Q_A

$$Q_A = \frac{24}{\pi} \cdot Q_{HT} \cdot \left[1 + 0.033 \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot n}{365}\right)\right] \cdot \left[\cos\phi \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega_x + \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot \omega_x}{360}\right) \cdot \sin\phi \cdot \sin\delta\right] \quad (4)$$

Үүлшилтийн коэффициент k

$$k = \frac{Q_6}{Q_A} \quad (5)$$

Нарны нийлбэр цацрагт сарнисан цацрагийн эзлэх хувь үүлшлийн хэмжээнээс өөрөөр хэлбэл хэвтээ гадаргууд туссан сарын дундаж сарнисан цацрагийн хэмжээ Q_c ба өдрийн нийлбэр цацрагийн Q_6 хэмжээнд харьцуулсан харьцаагаар тооцно.

$$\frac{Q_c}{Q_6} = 1.39 - 4.027 \cdot k + 5.531 \cdot k^2 - 3.108 \cdot k^3 \quad (6)$$

Шулуун цацрагийн шилжүүлэх коэффициент $R_{ш}$

$$R_{ш} = \frac{(\cos\delta \cdot \cos(\phi - m) \cdot \sin\omega_n + \frac{\pi}{180} \cdot \omega_n \cdot \sin\delta \cdot \sin(\phi - m))}{(\cos\delta \cdot \cos\phi \cdot \sin\omega_x + \frac{\pi}{180} \cdot \omega_x \cdot \sin\delta \cdot \sin\phi)} \quad (7)$$

Шилжүүлэх коэффициент R

$$R = \left(1 - \frac{Q_c}{Q_6}\right) \cdot R_{ш} + \frac{Q_c}{Q_6} \cdot \frac{1 + \cos m}{2} + \rho \cdot \frac{1 - \cos m}{2} \quad (8)$$

ρ – Газрын гадаргуугийн ойлгох чадвар

ЯНЗ БҮРИЙН ГАДАРГУУГИЙН ОЙЛГОХ ЧАДВАР

2-Р ХҮСНЭГТ

Газрын гадаргуу	Газрын гадаргуугийн ойлгох чадвар
Мөс	0.7
Бетон	0.2
Асфальт хар хөрс	0.1
Элс	0.4
Өвс, ургамалтай хөрс	0.3
Цасгүй ихэнх хөрс	0.2
Цастай хөрс	0.7

Нарны төхөөрөмжийн гадаргууд тусах нийлбэр цацрагийн хэмжээ Q_T

$$Q_T = R \cdot Q_6 \quad (9)$$

Төхөөрөмжийн налуугийн өнцгийг янз бүрийн утгаар авч нийлбэр цацрагийн хэмжээг хамгийн их байх утгаар төхөөрөмжийн налуугийн өнцгийг тохируулна. [14]

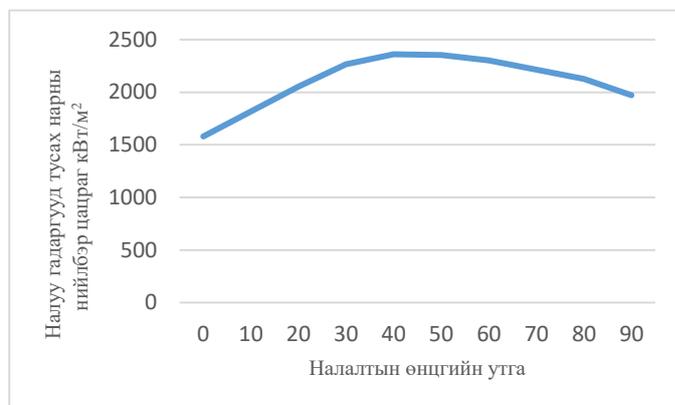


График 3. 0-90 хэмд тусах нарны нийлбэр цацраг

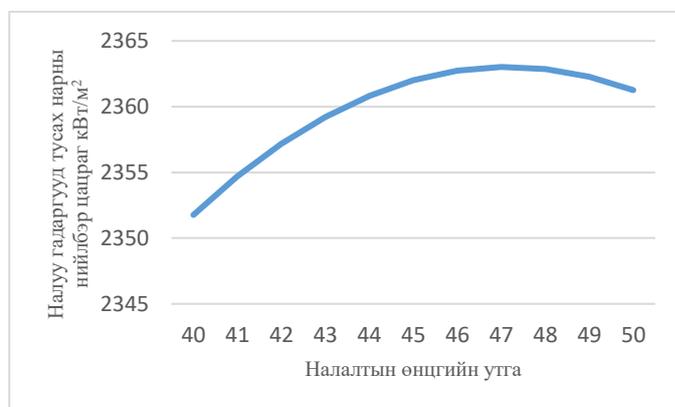
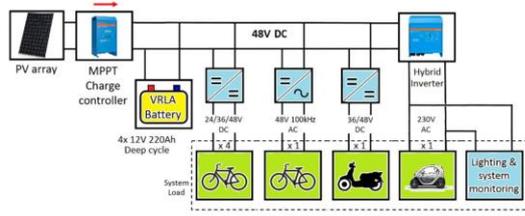


График 4. 40-50 хэмд тусах нарны нийлбэр цацраг

Ийнхүү тооцоолсны эцэст тухайн байршилд бүтэн жилийн хүрээнд хамгийн ашигтай өнцгийг бүх өнцөгт авч үзэхэд 47 хэмд тусах нарны нийлбэр цацрагийн хэмжээ хамгийн их байв. Гэвч үйлдвэрлэх тооцоолол салхины ачаалал зэргийг үндэслэн төхөөрөмжийг 30 хэмийн налууд байрлуулах нь салхины нөлөөлөлд өртөн эвдрэл гэмтэл учрах магадлалыг бууруулж байв.

D. Төхөөрөмжийн цахилгаан ачаалал

Сар бүр төхөөрөмжийн ашиглах эрчим хүчний хэмжээ өөр өөр байна. Жишээ нь 6-р сард хамгийн их буюу дийлэнх ачааллыг цахилгаан дугуйн цэнэглэгч эзэлж байгаа бол өвлийн улиралд цахилгаан дугуй ажиллахгүй учраас хамгийн бага ачаалалтай байна.



6-р зураг. Хэрэглэгчийн цахилгаан холболтын бүдүүвч

Е. Үйлдвэрлэх цахилгаан эрчим хүч

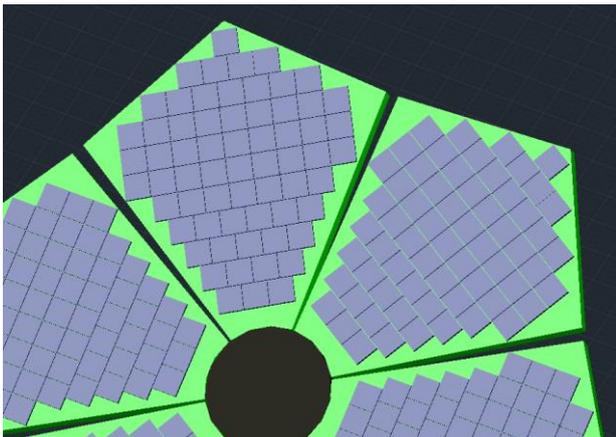
Төхөөрөмжийн хэлбэрт тохируулан бэлэн нарны цахилгаан үүсгүүрийн модуль суурилуулснаас навчны хэлбэрт тохируулан селлүүдийг тараан байрлуулсан нь ашигтай хэмээн үзэж дараах өгөгдөлтэй 7.5Вт чадалтай селлийг сонгон авлаа.

СЕЛЛИЙН ҮЗҮҮЛЭЛТ

3-Р ХҮСНЭГТ

Моделийн дугаар	182MM*182MM
Гэрчилгээ	ISO, CE
Хэмжээ	182*182*0.5 мм
Чадал	7.23-7.46Вт
Ашигт үйлийн коэффициент	21.9-22.6%
HS код	8541402000
Материал	Монокристал цахиур
Pmpp	7.46Вт
Ump	0.592В
Imp	12.604А
Voc	0.688В
Isc	13.226А

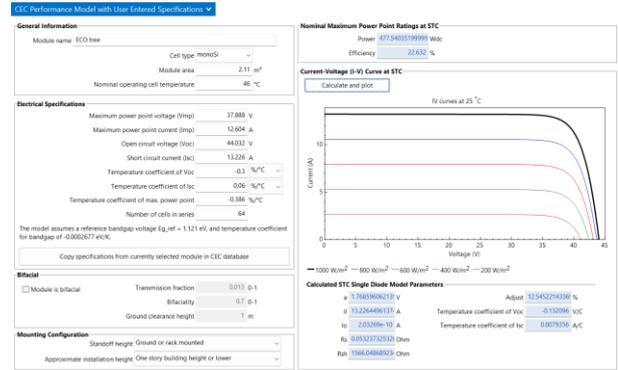
Бидний гаргасан модны загварт тохируулан нэг навчинд 64 селл байрлуулан нэг модуль гэж үзэн SAM программаар симуляци хийв.



7-р зураг. Селлүүд тараан байрлагдсан загвар.

Дээр дурдсанчлан 64 селлийг нэг модуль хэмээн тооцоолон симуляци хийхдээ программд селлийн

үзүүлэлт өгөгдлийг ашиглан модулийн өгөгдлийг гаргаж авна.



8-р зураг. Модулийн гүйдэл хүчдэлийн муруйг тооцоолсон байдал

Мөн модулийн гаралтын хүчдэл гүйдэл болон чадалд тохируулан инвертер, үйлдвэрлэх болон хэрэглэх цахилгаан эрчим хүчний хэмжээнд хамааруулан цэнэг хураагуурыг сонгон суурилуулах ба энэ нь төхөөрөмжийн тулгуур багана дотор байрлана.

Tigo Energy TSI-3.8k-US инвертер – 1 ширхэг 100Ац багтаамжтай цэнэг хураагуур – 2 ширхэг Ийнхүү төхөөрөмж сонгож өгөгдлүүдээр тооцоолол хийхэд дараах үр дүнг үзүүлэв.

ҮЙЛДВЭРЛЭХ ЦАХИЛГААН ЭРЧИМ ХҮЧ

4-Р ХҮСНЭГТ

Сар	Үйлдвэрлэх DC эрчим хүч (кВт.ц)	Хэрэглэх боломжит AC эрчим хүч (кВт.ц)
1	377.28	360.457
2	461.414	441.843
3	549.2	525.111
4	511.389	487.815
5	531.462	506.027
6	456.77	433.928
7	477.924	453.995
8	452.261	429.778
9	375.756	356.875
10	374.866	357.111
11	241.135	228.449
12	315.11	300.616

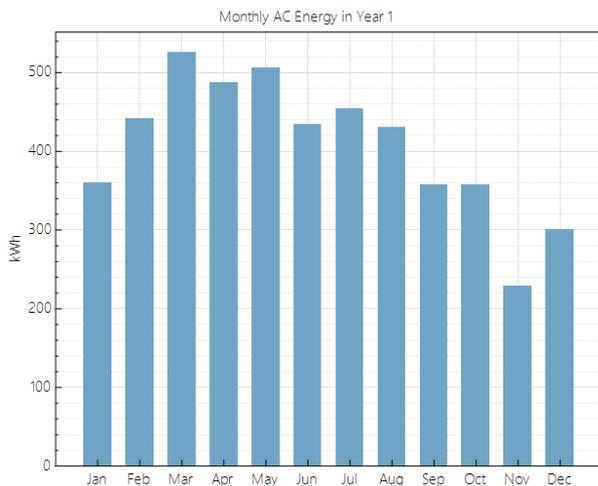


График 5. Жилд ашиглах боломжтой АС-эрчим хүч

Энэ нь жилийн цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээг буюу утас цэнэглэх USB оролт 10, Цахилгаан дугуй цэнэглэх оролт 3, их гэрэл, цахим мэдээллийн самбар, жижиг туузан гэрлүүдийн хэрэгцээг бүрэн хангах боломжтой бөгөөд дотоод хэрэгцээ болох гэрэлтүүлэг, цахим самбар зэргийн эрчим хүчийг тооцохгүйгээр борлуулах боломжтой эрчим хүчний хэмжээ их байж болно.

IV. ЭДИЙН ЗАСАГ, ҮР АШИГ

A. Ашиглалт засварын төлөвлөгөө

Төхөөрөмжийн жилд үйлдвэрлэх боломжит эрчим хүчний хэмжээ 5048кВт.ц ба дотоод хэрэгцээ буюу гэрэл, самбарын хэрэглээг улирал бүрийн онцлог, өдрийн цагуудад хамааруулан 1000кВт.ц-р тооцон 3882кВт.ц борлуулах боломжтой байна.

СУУРИЛАГДАХ ТӨХӨӨРӨМЖҮҮДИЙН ХҮЧИН ЧАДАЛ
5-Р ХҮСНЭГТ

Тонг төхөөрөмжийн нэр	Чадал, Вт	Тоо ширхэг
Их гэрэл	50	1
Жижиг туузан гэрлүүд	5	30
Дугуй цэнэглэгч	110	3
Цахим мэдээллийн самбар	100	1
Цэнэглэгч USB	15	10

Ажиллуулах явцад хяналтын камер засвар үйлчилгээ зэргийг хянах албаны ажилтан зэрэг томилогдох шаардлага гарч ирнэ. Тиймээс эхний ээлжид үүнийг арилжааны компаниудад өөрсдийн бараа бүтээгдэхүүний сурталчилгаа болгон ашиглаж нийгэмд нэвтрүүлэх байдлаар оруулж ирэх нь эдийн засгийн хувьд тогтвортой байна.

3882кВт.ц эрчим хүчийг нарны цахилгаан үүсгүүрийн үйлдвэрлэсэн эрчим хүчийг борлуулах олон Сэргээгдэх эрчим хүчний хуулийн [16] хүрээнд 0.12ам.доллар/кВт.ц байна 2023 оны 10-р сарын 20-ны өдрийн байдлаар авч үзэхэд 0.12ам.доллар нь 408 төгрөг байгаа бөгөөд энэ үнээрээ цэнэглэлтийн

тариф тогтоож борлуулахад жилдээ 1.65 сая төгрөгийн борлуулалттай байна. Дээр дурдсанчлан арилжааны байгууллагуудын зар сурталчилгаанд ашиглан анхны хөрөнгө оруулалтаа нарны цахилгаан үүсгүүр, цэнэг хуримтлуурын ашиглалтын хугацаа дуусахаас өмнө нөхөх бүрэн боломжтой.

B. Байгаль орчны нөлөөлөл

Нийт жилийн туршид төхөөрөмж 5048 кВт.ц эрчим хүч үйлдвэрлэх бөгөөд уламжлалт аргаар буюу дулаан цахилгаан станцын сүлжээний цахилгаанаар хэрэглэсэн бол төхөөрөмжийн цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээнд жилд 2000 гаруй кг нүүрс шаардлагатай байна. (1кг нүүрс өөрөө 7000 орчим ккал бөгөөд кВт.ц хувиргахад 8.14кВт.ц болно. Уурын турбины ашигт үйлийн коэффициентийг 30 хувиар тооцож 1кг нүүрснээс гарган авах боломжит эрчим хүч нь 2.44кВт.ц болно.) 1кг нүүрснээс 2.42 кг нүүрсхүчлийн хий ялгарах ба Eco tree төхөөрөмж нь жилийн хугацаанд 5 тонн гаруй нүүрсхүчлийн хийг хэмнэхээр байна.

Мөн Улаанбаатар хотын нийт 90 мянга гаруй гэрлийн хэрэгцээ байдаг хэмээн дурдсанчлан бүх гэрлийг сэргээгдэх эрчим хүчээр шийдэж чадвал 39.4 сая кВт.ц эрчим хүч буюу 16142.5 тонн нүүрс, 39065 тонн нүүрсхүчлийн хий байгальд ялгарахаас сэргийлж чадна.

V. ДҮГНЭЛТ

Сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсвэрийг ашиглах нь нүүрстөрөгчийн ялгаруулалтыг бууруулж, байгальд хувь нэмэр оруулах тогтвортой бөгөөд байгальд ээлтэй сонголт билээ. Уг судалгааны ажилд нарны эрчим хүчээр ажилладаг гудамжны гэрлийг бие даасан систем байдлаар ашиглах нь зардал хэмнэж, засвар үйлчилгээ хийхэд ашиг тустайг онцлон тэмдэглэж болно. Нарны эрчим хүчээр ажилладаг гудамжны гэрэлтүүлэг нь сүлжээнд холбогдох шаардлагагүй бөгөөд энэ нь үнэтэй дэд бүтэц, байнгын цахилгааны зардлыг арилгах боломжтой юм. Иймд жилд 5тонн нүүрсхүчлийн хийг хэмнэхээс гадна цахилгааны зардалд ч хэмнэлттэй байна. Гэсэн хэдий ч судалгаанд энэ аргын зарим боломжит сорилтууд эсвэл сул талуудыг онцолж болно. Жишээлбэл, нарны гэрэл багатай газар эсвэл үүлэрхэг цаг агаар удаан үргэлжилсэн үед нарны эрчим хүчээр ажилладаг гудамжны гэрэл нь тийм ч үр дүнтэй байдаггүй. Сэргээгдэх эрчим хүчийг ашиглан бие даасан систем байдлаар гудамжны гэрэлтүүлгийг ашиглах нь олон нийтийн хувьд үр дүнтэй, тогтвортой шийдэл болохын зэрэгцээ тээврийн тогтвортой сонголт, нийгмийн оролцоог дэмжих боломжтой. Манай судалгааны хүрээнд нэг төхөөрөмж дангаар 5000кВт.ц эрчим хүчийг жилийн хугацаанд үйлдвэрлэх нь мөн хэмжээний нүүрсхүчлийн хийг хэмнэж Улаанбаатар хотын экосистемд эерэг нөлөө үзүүлэхээс гадна сэргээгдэх эрчим хүчний давуу талыг нийтэд таниулах өрх бүр

хэмнэлттэй хэрэглэгч болоход ч эерэгээр нөлөөлнө. Гэсэн хэдий ч ийм төслүүдийг амжилттай хэрэгжүүлэхийн тулд орон нутгийн нөхцөл байдал, бэрхшээлийг сайтар төлөвлөж, анхаарч үзэх хэрэгтэй.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

- [1] Worldometer.com
- [2] <https://www.macrotrends.net/cities/21882/ulaanbaatar/population>
- [3] <https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.ELEC.KH.PC?end=2014&locations=MN&start=1985&view=chart>
- [4] Illuminating dark ger area streets . L.Misheel The UB post 19 June 2020
- [5] Гэрэлтүүлэгт тавигдах ерөнхий шаардлага. Нийслэлийн иргэдийн төлөөлөгчдийн хурлын 2022 оны 26-р тогтоол
- [6] Байгалийн ба зохиомол гэрэлтүүлэг БНБД 23-02-08
- [7] Гэрэлтүүлгийн ган шон ба техникийн материал. MNS2568:1983
- [8] "Street Lighting in the Urban Environment." International Energy Agency. 2013.
- [9] 100% Clean, Renewable Energy and Storage for Everything, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom Jacobson, M. (2020).
- [10] International Energy Agency. Light's labour's lost: policies for energy efficient lighting. France: IEA; 2006
- [11] Design and Analysis of Solar-powered E-bike Charging Stations to Support the Development of Green Campus. Slamet Suropto 2022
- [12] Exploring Solar Charging Station Design for Electric Bicycles. Beth Ferguson, University of California 2022
- [13] Monitoring and quantifying CO2 emissions of isolated power plants from space, Xiaojuan Lin 2023
- [14] Сэргээгдэх эрчим хүчний нөөц ба хуримтлуур
- [15] <https://www.euronuclear.org/glossary/coal-equivalent>
- [16] <https://legalinfo.mn/mn/detail/465> Сэргээгдэх эрчим хүчний тухай хууль

МОНГОЛ УЛСЫН ЭХС-Д АШИГЛАГДАЖ БУЙ ШИЛЖИЛТИЙН ГОРИМЫН ХЯНАЛТ, МЭДЭЭЛЛИЙН СИСТЕМИЙН СУДАЛГАА

Э.Золжаргал¹, Б.Энх-Амар², О.Мөнгөнбаяр², Б.Загдхорол², С.Адарсүрэн²

Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Цахилгааны техникийн салбар

*Холбогдох зохиогчийн и-мэйл хаяг: zolo09287@gmail.com, zagdkhorol@must.edu.mn

Хураангуй—Монгол улсын эрчим хүчний төвийн нэгдсэн системд 2004 оноос хойш буюу 2006, 2015, 2018, онуудад томоохон тасралт гарж системийн тогтворжилт алдагдаж эх үүсвэр тасарсан. Нэгдсэн системийн тогтворжилт алдагдаж, аваарын хүнд нөхцөлд байсан учраас Диспетчерийн үндэсний төв ТӨХХК-ийн Реле хамгаалалт, автоматикийн албаны зүгээс хэрэгжүүлэх шаардлагатай арга хэмжээнүүдийг авч эхэлсэн нь 2019 онд WAMS системийг нэвтрүүлж, ашиглалтанд оруулсан явдал байв. Ингэснээр Монгол улсын эрчим хүчний системийн найдвартай байдлыг хангаж цаашдын хөгжлийн замыг нээсэн юм. Уг судалгааны ажлаар WAMS системийн үндсэн ойлголт, онцлог, бүтэц, Монгол улсад нэвтэрсэн байдал түүний үр дүнгийн талаар судалсан болно.

Түлхүүр үг— *Wide Area Monitoring System, PMU, PDC, нэгдсэн стандарт,*

I. УДИРТГАЛ

Эрчим хүчний салбар нь аливаа улс орны аюулгүй байдал, тогтвортой хөгжлийг хангахад чухал ач холбогдолтой суурь салбар юм. Тийм ч утгаараа олон улсад хүлээн зөвшөөрөгдсөн техник, технологийг цаг алдалгүй нэвтрүүлэхээс эхлээд, орчин үеийн программ хангамжийг ЦЭХС-ний горим, тооцоо судалгаанд ашиглах хэрэгтэй. Цахилгаан механик шилжилтийн болон тогтворжсон горимын үед эрчим хүчний системийн төлөв байдлыг тухайн эгшинд нь WAMS системээр хяналт шинжилгээ хийх нь дэлхий нийтэд нийтлэг хэрэглээ болж байна. МУ-ын ЭХС-д WAMS /Wide area monitoring system/ нь Шилжилтийн горим хяналт, мэдээллийн систем гэх нэрэн дор 2019 оны 12-р сарын 23 ны өдөр амжилттай нэвтрүүлэн ашиглаж байна. Уг систем нь мэдээлэл цуглуулах ухаалаг төхөөрөмжүүдээс, цагийн синхрончлогдсон вектор хэмжилтийн өгөгдөл цуглуулах боловсруулах, хадгалах, тогтворжилтыг хангах зэрэг зэрэг олон түвшний автоматжуулалтыг багтаасан систем юм.

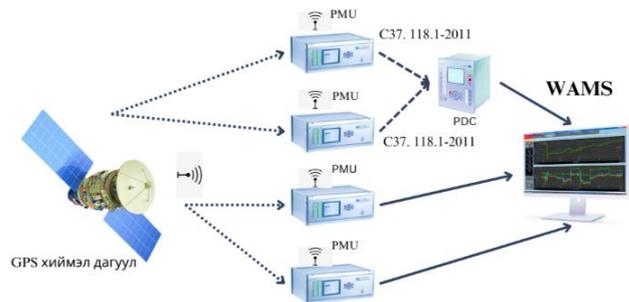
II. WIDE AREA MONITORING SYSTEM- WAMS

WAMS нь эрчим хүчний тогтворжсон болон шилжилтийн процессын горимын мэдээллийг бодит хугацааны эгшинд хиймэл дагуулын тусламжтайгаар цагийн синхрончлогдсон вектор хэмжилтийн утгаар нэгдсэн сан үүсгэн, шуурхай ажиллагаа түүний удирдлагын түвшинд мэдээлдэг систем юм[1].

Товч түүхээс дурдвал WAMS-ийг анх 1980-аад оны сүүлээр Боннвиллийн Эрчим Хүчний удирдлага нэвтрүүлсэн ба энэ нь Барууны Системийн Зохицуулах Зөвлөл-(WSCC- Western System Coordinating Council)-д динамик мэдээлэл нэн чухал шаардлагатай байсантай холбоотой юм. Хойд Америкийн ЦЭХС нь WAMS-ийг хэрэгжүүлэх анхны туршилтыг амжилттай хийсэн байдаг. 1994 оноос хойш Phasor measurement unit (PMU) буюу цагийн синхрончлогдсон вектор хэмжигдэхүүнийг хэмжих төхөөрөмжийг WAMS-д ашиглаж эхэлсэн [2].

III. WAMS-ийн БҮТЭЦ

WAMS нь үндсэн төвлөрсөн бүтэцтэй ба системийн сонгосон цэгүүдэд байршуулсан PMU, төвлөрсөн PDC (Phasor Data Concentrator)-рүү холбогдсон программ хангамж, өгөгдлийн сантай байна. Эдгээр нь системийн үйл ажиллагааг тасралтгүй хянах боломжийг олгодог.



1-р зураг. WAMS системийн ерөнхий бүтэц.

Зураг 1-т харуулснаар PMU буюу (Phasor Measurement Unit) төхөөрөмжийн талаар дэлгэрэнгүй авч үзье.

A. *Phasor measurement unit (PMU)- цагийн синхрончлогдсон вектор хэмжигдэхүүнийг хэмжих төхөөрөмж*

1988 онд вектор хэмжилтийн төхөөрөмж (PMU)-ийг Dr. Arun G. Phadke болон Dr. James S. Thorp нар зохион бүтээсэн байна. Ингэснээр цахилгаан эрчим хүчний системийг алс зайнаас хэмжих, хянах боломж нээгдсэн гэж үзэж болно. Phasor гэдэг нь хувьсах гүйдлийн цахилгаан систем дэх синусын долгионы хэмжээ ба фазын өнцгийг илэрхийлдэг комплекс тоо юм[3].

Дараах синусоид тэгшитгэлийг авч үзье:

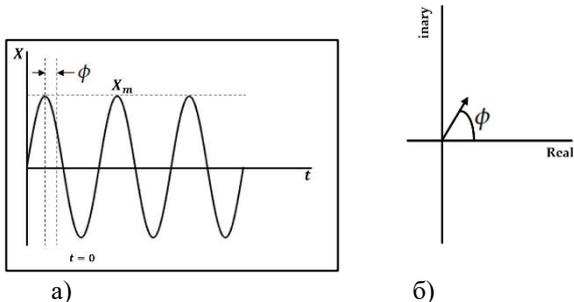
$$x(t) = X_m \cos(\omega t + \phi) \quad (1)$$

Энд: X_m -синусоид долгионы хэмжээ, ω -агшин зуурын давтамж, ϕ - өнцгийн эхлэлийн цэг.

Синусоидын фазын дүрслэлийг дараах байдлаар үзүүлэв:

$$x(t) = \frac{X_m}{\sqrt{2}} e^{j\varphi} = \frac{X_m}{\sqrt{2}} (\cos\varphi + j\sin\varphi) = \frac{X_m}{\sqrt{2}} \quad (2)$$

(1); (2)-ийн синусоид болон фазын дүрслэлийг Зураг 2-т харуулав.



2-р зураг. а) PMU-ийн синусоид сигналын дүрслэл, б) Фазорын дүрслэл

PMU нь гүйдэл болон хүчдэлийн вектор утгуудыг бодит хугацааны эгшинд хүлээн авдаг төхөөрөмж юм. GPS (Global Positioning System) буюу байршил тогтоох системийн тусламжтайгаар цагийн синхрончлолыг үүсгэн, сүлжээнд холбогдож буй алслагдсан цэгүүдээс эгшин зуурын бодит хэмжилтийг авах боломжийг олгодог. Ердийн PMU нь секундэд 30-60 хэмжилтийн дарааллаар хугацааны өндөр нарийвчлалтай хэмжилтийг мэдээлэх боломжтой байдаг[1]. Энэ нь уламжлалт SCADA хэмжилтээр боломжгүй, сүлжээн дэх динамик процессыг шинжлэхэд тусалдаг юм.

PMU-ээс ирсэн өгөгдлийг IEEE C37.118 болон IEEE 1344 протокол ашиглан цуглуулж, тодорхой стандарт алгоритмын дагуу боловсруулан мэдээлдэг[4].

PMU-ийн нэгдсэн стандарт гэдэг нь өөр өөр үйлдвэрлэгчдийн үйлдвэрлэсэн PMU төхөөрөмжүүд хоорондоо харилцан уялдаа холбоотой байхын тулд нэгдсэн стандартыг дагаж мөрдөх нь чухал байдаг. IEEE-ийн цуврал стандартуудыг синхрофазын хэмжилтийн нарийвчлал, өгөгдлийн мэдээллийн найдвартай байдлыг хангах зорилгоор гаргасан байна.

IEEE Standard 1344 хэмээх анхны синхрофазор стандартыг 1995 онд гаргасан бөгөөд үүнд хэмжилт, холбоо техникийн үзүүлэлтүүд багтсан байдаг. Үүний дараа IEEE C37.118-2005 стандартыг гаргасан ба уг стандартад давтамжийн хазайлт нь нэрлэсэн давтамжаас ± 5 Гц-ийн хязгаарт байх бөгөөд ингэснээр PMU-ийн ажиллагааг тодорхойлж өгсөн байна[5].



3-р зураг. Монгол улсын ЦЭХС-д ашиглагдаж буй ОХУ-ын Парма компанийн РП4.12 загварын PMU.

PMU-ТЭЙ ХОЛБООТОЙ ТОВЧ БАРИМТУУД[7]

1-Р ХҮСНЭГТ

1988 онд	<p>Анх PMU-г Virginia Tech-д зохион бүтээсэн. Virginia технологийн лабораторид PMU-г анх суулгасан байдал.</p>
1992 онд	PMU-г анх арилжаалж эхлэв.
1995 онд	Анхны синхрофазорын стандарт IEEE1344 үүссэн.
2003 онд	<p>Хойд Америкийн түүхэн дэх хамгийн том хэмжээний цахилгаан тасралт гарч 50 сая гаруй хүн хоёр өдрийн турш эрчим хүчгүй байсан байна. Улмаар синхрофазор хэмжилтийн төхөөрөмжийг ашиглах болжээ.</p>

IEEE C37.118.1-2011- Эрчим хүчний системийн синхрофазор хэмжилтийн IEEE стандарт. C37.118 стандарт нь эрчим хүчний системийн төхөөрөмжүүдийн хоорондох синхрон фазорын хэмжилтийн өгөгдөл солилцох аргачлалыг тодорхойлдог.

IEEE C37.244-2013 нь PDC төхөөрөмжийн функциональ шаардлага, гүйцэтгэл, харилцаа холбооны системд зориулагдсан гарын авлага юм. Уг стандартад аюулгүй байдал, протоколын дэмжлэг, харилцаа холбооны гэх мэт 17 функциональ шаардлагыг тодорхойлсон байдаг.

IEEE C37.118.2-2011. стандартын дагуу PMU:

- Давтамж— ±0,001Гц
- Өнгийн алдаа— ±0,05°
- Хувьсах гүйдлийн хүчдэлийн утга— ± 0,1%
- Хувьсах гүйдлийн хүч— ± 0,2 %
- Бодит болон хуурмаг чадал—± 0,25%
- 1 секундэд 50-150 хэмжилт хийх
- Өөр дээрээ 14 хоногийн мэдээлэл хадгална.

PMU-г дараах байдлаар 2 ангилж байна. (C37.118.1 стандартын хувьд)

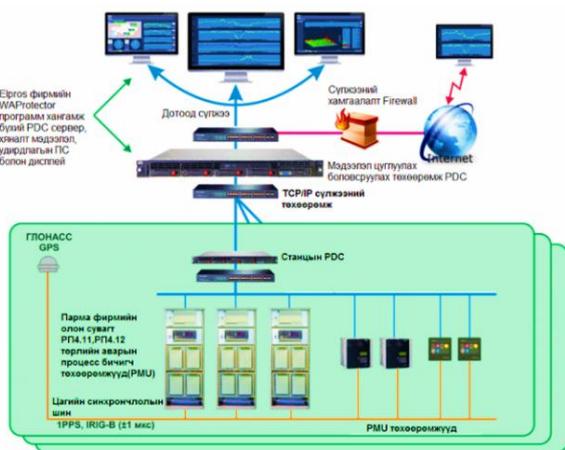
- Р ангилал буюу Хамгаалалтын ангилал: хурдан хариу үйлдэлтэй, шүүлтүүр шаардлагагүй;

•М ангилал буюу Хэмжилтийн ангилал: өндөр нарийвчлал, өөр төрлийн дохиог шүүх, хариу үйлдэл нь удаашралтай.

Эдгээрээс хэрэглэгч нь ямар ангиллыг ямар аппликейшнд хэрэгтэй болохыг сонгодог[6].

IV. МОНГОЛ УЛСАД НЭВТЭРСЭН WAMS СИСТЕМИЙН ТУХАЙ

2018 оны 9 сарын 15-ны өдрийн нэгдсэн системд гарсан томоохон аваарын дараа ДҮТ ТӨХХК-ийн Реле хамгаалалт, автоматикийн албанаас системийн тогтворжилтыг бодит байдлаар үнэлэх, реле хамгаалалт автоматикийн ажиллагааг хянах, диспетчерийн удирдлагыг оновчтой зөв болгох гэх мэт зорилгоор Шилжилтийн горимын хяналт, мэдээллийн систем WAMS (Wide Area Monitoring System)-ийг хэрэгжүүлэхээр санаачлан төслийн үндэслэлийг боловсруулан нэгдсэн сүлжээнд ашиглаж байна. Ийнхүү ЦЭХС-ийн нэгдсэн төлөв байдлыг Шилжилтийн горимын хяналт, мэдээллийн систем (WAMS) ашиглан хянах боломжтой болсон юм[2].



4-р зураг. Монгол улсын ДҮТ-ийн гаргасан WAMS системийн ерөнхий бүтэц.

SCADA системийг автоматикт ашиглах боломжгүй байдаг. Харин WAMS нэвтэрснээр, тогтворжилтыг хангах төвлөрсөн автоматикийн систем бий болгосон (LSAP)[2]. Мөн энэхүү системийг тасралтын үед ашиглаж байгаа ба тухайн шугам дээр тасралт гарахад GPS-ээр дамжуулан хаана тасралт болж байгааг хугацааны хоцрогдолгүйгээр WAProtector программ хангамжийн тусламжтайгаар хянаж, тасралтын шалтгааныг илрүүлж, дүн шинжилгээ, тооцоо судалгааг нарийн хийж судалж байна. Ингэснээр нэгдсэн системд гарч болох байсан 7 ч удаагийн аваар саатлаас сэргийлж чадсан амжилттай үр дүнтэй үзүүлэлт үзүүлсэн байна. Өөрөөр хэлбэл Монгол улсын цахилгаан эрчим хүч тэг суухаас сэргийлж системд үүсэж болох бүхий л төрлийн аваарын горимын үед мэдээлэл хүлээн авч, боловсруулж, системийг тогтвортой авч үлдэх үйлдлийг богино хугацаанд хийх боломжийг олгож буй цогц автомат систем юм.

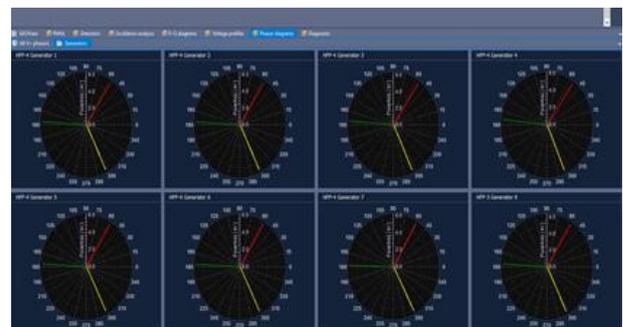
A. WAProtector программ хангамжийн талаар

Монгол улсын эрчим хүчний системд суурилагдсан WAMS системийн программ хангамж нь Словен улсын ELPROS фирмийн эрчим хүчний хяналт, удирдлага, автоматикийн системийн олон талт функц бүхий WAProtector программ хангамж бөгөөд дэлхийн 40 гаруй оронд ашиглагдаж байна.

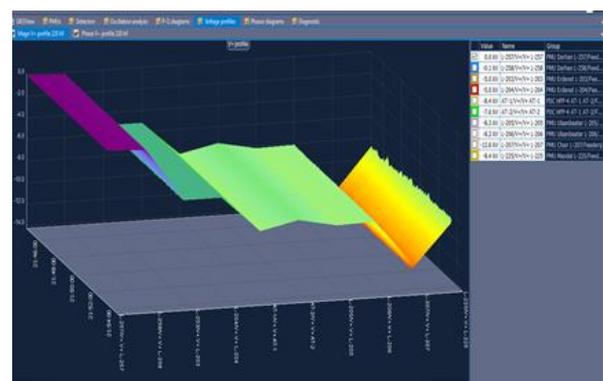
Уг фирм нь 2001 онд байгуулагдсан, программ хангамж нь бодит цаг хугацаанд хийгдэж байгаа өгөгдлийн шинжилгээг заагдсан алгоритмын дагуу эрчим хүчний системийг үнэлэх, үйлчлэл үзүүлэх, удирдах боломжийг олгодог. WAProtector нь олон улсын IEEE C37.118 стандартыг хангасан өгөгдлийг боловсруулан Monitoring protection ба Automation хийх бүрэн боломжтой программ хангамж юм. Манай системд суурилагдсан Waprotector нь 1000 хүртэлх цэгээр өргөтгөх боломжтой.

WAMS-ийн хяналтын функцэд дараах мэдээллүүд багтана. Үүнд:

- Oscillation locator (Хэлбэлзлийн байрлал тогтоогч)
- Frequency range detector (Давтамжийн хяналт)
- Unbalance detector (Параметруудийн нэгэн төрлийн бус буюу тэгш бусын хяналт)
- Short circuit detector (Богино залгааг илрүүлэгч)
- Short circuit locator (Богино залгааны байрлал илрүүлэгч)
- Voltage range detector (Хүчдэлийн хяналт) гэх мэт.



5-р зураг. Phasor буюу генераторуудын зэрэгцээ ажиллагааны үеийн роторын өнцгийн хэмжилтийн хяналт.



6-р зураг. Агаарын шугамуудын гүйдэл, хүчдэлийн нэгэн төрлийн байдлын хяналт.

PMU ХОЛБОГДСОН ЦЭГҮҮД [7]

2-Р ХҮСНЭГТ

Байршил	Холбогдсон цэг
Тэц-4	ТГ№1
	ТГ№2
	ТГ№3
	ТГ№4
	ТГ№5
	ТГ№6
	ТГ№7
Тэц-3	ТГ№9
Дархан ТЭЦ	ТГ№5
Эрдэнэт ТЭЦ	ТГ№4
Селендум-Дархан/220кВ	АШ-257
	АШ-258
Дархан 220кВ	АШ-208
Дархан 110кВ	АШ-113
Эрдэнэт 220кВ	АШ-203
	АШ-204
	АШ-201
	АШ-202
	АШ-205
Улаанбаатар 220кВ	АШ-206
	АШ-209
	АШ-210
	АШ-210
ИХБ-2	АШ-Холбоо-А
	АШ-Холбоо-Б
ИХБ-3	АШ-111
	АШ-112
	АШ-105
	АШ-106
ИХБ-4	АТ-1
	АТ-2
	АШ-208
	АШ-109
	АШ-110
	АШ-118
Мандах 220кВ	АШ-225
	АШ-213
	АШ-214
Тавантолгой 110кВ	АШ-Даланзадгад-Тавантолгой-110кВ

V. ДҮГНЭЛТ

Монгол улсад WAMS систем нэвтэрснээр холбогдсон цэгүүдэд гарч буй гэмтлүүдийг тодорхойлж, илрүүлэх боломжтой болсон. 2019.12.23-наас хойш WAMS систем нь одоогийн байдлаар 41 цэгт PMU төхөөрөмжийг суурилуулан амжилттай ажилласаар байна. Ингэснээр csv, comtrade, udb өргөтгөлтэй файлуудыг ашиглан POWERFACTORY, digsilent загварчлалуудыг сайжруулж, системд үүсэж болох авааруудын бүх хувилбаруудыг тооцож, динамик болон статик тогтворжилтын тооцоог хийн сайжруулсаар хөгжүүлсээр байна.

Системийн бүхий л төрлийн горимд цагийн синхрончлогдсон өндөр нарийвчлалтай вектор хэмжилтийг хүлээн авах төхөөрөмж PMU-ийн тархалт нь цаашид улам өргөжих төлөвтэй байна.

ТАЛАРХАЛ

Эрдэм шинжилгээний судалгааны ажилд тусалсан ДҮТ ТӨХХК-ийн Реле хамгаалалт, автоматикийн албаны хамт олонд мөн эрдэмтэн багш С.Адарсүрэн, Б.Загдхорол нарт талархал илэрхийлье.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

- [1] S. P. S. R. T. Nalini Anandan, “Wide area monitoring system for an electrical grid,” Energy Procedia, pp. 383-384, 2019,2
- [2] ДҮТ ТӨХХК, Реле хамгаалалт автоматикийн алба, “Шилжилтийн горимын хяналт, мэдээллийн систем / WAMS /” -ийг суурилуулсан ажил, өнөөгийн төлөв, судалгааны ажлын тайлан”, Улаанбаатар хот, 2023 он.
- [3] Arun G. Phadke and James S. Thorp, “Synchronized Phasor Measurements and Their Applications”, Second Edition.
- [4] Can HUANG1, Fangxing LI, Dao ZHOU, Jiahui GUO, Zhuohong PAN, Yong LIU, Yilu LIU, “Data quality issues for synchrophasor applications Part I: a review”.
- [5] Arun G. PHADKE and Tianshu BI, “Phasor measurement units, WAMS, and their applications in protection and control of power systems”, 4.Standards .
- [6] П.Энхболор, “Wide Area Monitoring System,” ДҮТ ТӨХХК, Улаанбаатар,2021.
- [7] ХОСБАЯРЫН ЭРДЭМБИЛЭГ, “Цахилгаан системд шилжилтийн процессын үед мониторинг хийх”, Реферат, Улаанбаатар хот, 2022 он.

REAL-TIME DIGITAL SIMULATOR(RTDS)-ИЙГ АШИГЛАН ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ СИСТЕМИЙГ ЗАГВАРЧЛАХ

Б.Энх-Амар, Э.Золжаргал, О.Мөнгөнбаяр, С.Адарсүрэн, Б.Загдхорол

Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Цахилгааны техникийн салбар

*Холбогдох зохиогчийн и-мэйл хаяг: enkhamar12@gmail.com, zagdkhorol@must.edu.mn

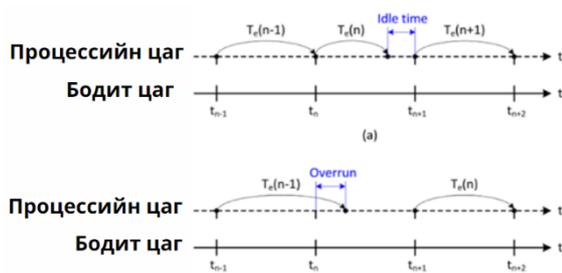
Хураангуй—Эрчим хүчний системийн шилжилтийн процесс, тогтсон горимын тооцоо зэрэг үнэн зөв мөн нарийвчлал шаардсан тооцоолол хийхэд бодит хугацааны тоон симуляторыг ашиглана. Real time digital simulator буюу RTDS-н бусад симулятороос ялгарах онцлог нь түүний симуляцийн time-step нь бодит цагийн синхрончлолтой мөн үйлчлэх утга биш эгшин зуурын утгыг ашиглан загварчлан хэрэглэдэгт оршино. RTDS-ийн туршилтын аргыг үндсэн 2 хэсэгт ангилдаг. Техник технологийн туршилт, эрчим хүчний системийн туршилт хийхэд гэдрэг холбоотойгоор симуляц хийдэг нь туршилтын явцыг бодит орчинтой илүү ойр байх үндэс болдог.

Түлхүүр үг—Цахилгаан соронзон шилжилтийн процесс, time-step, Hardware-in-the-Loop, моног төхөөрөмжийн загварчлал

I. УДИРТГАЛ

Техник технологи хурдацтайгаар хөгжиж дэвшихийн хэрээр эрчим хүчний сүлжээ илүү төвөгшил өндөртэй, найдваржилт ихээхэн шаардах болсноор эрчим хүчний системд гарах шилжилтийн процесс болон тогтсон горимын тооцоолол хийхэд хүндрэлтэй болсон учир эрчим хүчний системийн элементүүдийн математик шинж чанарыг агуулсан тооцоолох төхөөрөмж шаардлагатай болсон.

Эрчим хүчний системд шилжилтийн процессын үргэлжлэх хугацаа өчүүхэн бага бөгөөд үүнийг хиймэл орчинд туршихын тулд нарийвчлал өндөр time-step-тэй симуляц явуулах шаардлагатай. Мөн тухайн эрчим хүчний системийн загварчлалын үр дүнг бодит системийн үр дүнтэй ойролцоо байлгахын тулд time-step буюу дискрет цагийн интервалыг бодит орчны цагтай ижил явж байхаар загварласан нь бодит цагийн дижитал симулятор буюу Real-time digital simulator юм[2], [3].



1-р зураг. Баттeрeй хуримтлуурын инвeртeр, лoгик cхeмийг RTDS cимулятoрт загвaрчилсан

Эрчим хүчний симуляцийг дотор нь 2 төрөлд ангилах бөгөөд

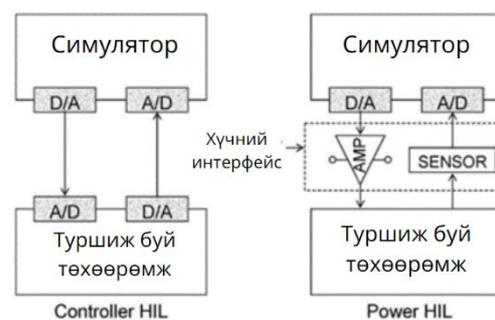
1. Бүрэн дижитал real-time симуляц (жишээлбэл: model-in-the-loop, software-in-the-loop, or processor-in-the-loop)
2. Hardware-in-the-loop (HIL) гэж ангилна.

Бүрэн дижитал бодит цагийн симуляц нь системийн үндсэн элементээс өгсүүлээд бүхий л удирдлагын төхөөрөмж, реле хамгаалалт, автоматикийн төхөөрөмжүүдийг симуляторт загварчилсан байх бөгөөд нэмэлтээр оролт гаралтын I/O байх шаардлагагүй.

Hardware-in-the-loop нь харин тухайн бодит цагийн симуляцад үүсгэсэн системийн загварын тодорхой хэсгийг бодит төхөөрөмжөөр орлуулсан байхыг хэлнэ. Үүнд нэмэлт гаралт оролтын I/O зайлшгүй шаардлагатай.

RTDS нь туршилт явуулах арга нь Hardware-in-the-loop буюу HIL бөгөөд энэ туршилтын арга нь ямар төрлийн төхөөрөмж туршиж байгаагаасаа хамааран 2 төрөл байна.

Эдгээрт реле хамгаалалтын төхөөрөмжийн туршилт хийх Control hardware in the loop(CHIL), системийн хүчний төхөөрөмжийн туршилт хийх Power hardware in the loop(PHIL) гэсэн 2 төрөл байна.



2-р зураг. Баттeрeй хуримтлуурын инвeртeр, лoгик cхeмийг RTDS cимулятoрт загвaрчилсан байдал.

II. RTDS ЗАГВАРЧЛАЛ

Эрчим хүчний системийн тодорхой хэсгээс эгшин зуурын мэдээлэл аван PHIL туршилтыг хийхийн тулд фазын цагийн синхрончлолтой мэдээлэл авах шаардлага үүснэ. Үүнийг фазын хэмжилтийн төхөөрөмж PMU гүйцэтгэх бөгөөд уг

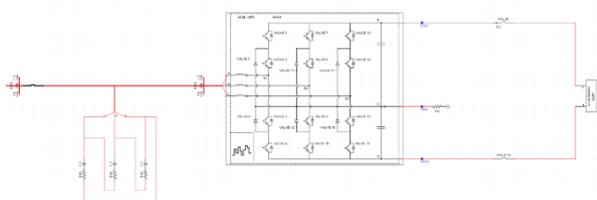
- Эрчим хүчний системд хэрэглэгдэх олон тооны шинээр зохион бүтээсэн шууд дарааллын чиглэлийн зайн релений туршилтыг ННЛ туршилтын арга хэрэглэн туршсан[10].
- Синхрон моторын удирдлагын туршилтыг RTDS ашиглан туршсан[11].
- Микро-сүлжээний олон шиний удирдлагын системийг туршсан[12].
- 500kW-н инвертерийн хуурмаг чадал болон хүчдэлийн удирдлагыг туршсан[13].
- РННЛ туршилтын аргыг ашиглан 1,5 КHz-ийн 15000 эр/мин-тай өндөр чадлын генераторыг туршсан[14].

Е. Сургалт, бэлтгэлд ашиглах

Боловсролын салбар нь үйлдвэрлэлийн болон технологийн салбар үсрэлттэй хөгжиж буй энэ үед орхигдуулж болохгүй том салбар юм. Техник технологийн хөгжил болон боловсролын хооронд үүссэн хоцролыг арилгахын тулд бодит орчны симуляцийг хийснээр ирээдүйн инженерүүдэд эрчим хүчний систем тодорхой өөрчлөлтөд ямар хариу үйлдэл үзүүлэхийг танин мэдэх нь чухал.

IV. МОНГОЛ УЛСАД ХЭРЭГЖҮҮЛСЭН БАЙДАЛ

80 МВт хүчин чадал бүхий батарей хуримтлуурын удирдлага, хяналтын төхөөрөмж PCS, батарей хяналтын BMS зэрэг төхөөрөмжийн ажиллагааг симулятор төхөөрөмжтэй холбон төхөөрөмжийн ажиллах чадамж, ажиллах хурд зэргийг тодорхойлон ЭХС-д зэрэгцээ ажиллагаанд ажиллах үеийн давтамж, хүчдэлийн тохируулга хийх тавилын утга, тохиргоо зэргийг симуляц хийсэн. Мөн батарей хуримтлуураас ДЦС-ыг сэргээх функц буюу black start функцийг ажиллагааг туршсан.

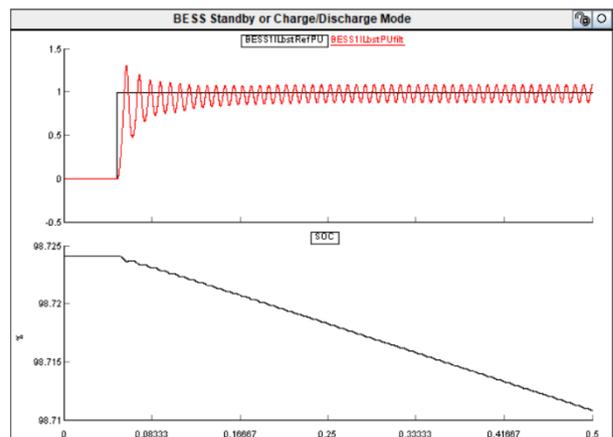


5-р зураг. Батарей хуримтлуурын инвертер, логик схемийг RTDS симуляторт загварчилсан байдал.

Тус загварчлалд 3-Level UCM Inverter Module ашиглан батарей хуримтлуурын станцын төслийн хүрээнд ашиглагдаж буй инвертер болон PCS-9567 удирдлагын модулийн логик ажиллагааг загварчилсан. 3-Level UCM инвертерийн модулийн давуу тал нь 1,0~ -1.0 хооронд импульсийн сигналыг хүлээн авах/ гаргах чадамжтай бөгөөд РННЛ тооцоолол хийх үед удирдлагын модулиас ирэх сигналын дагуу ажиллах боломжийг олгодог. Симуляцийн орчинд системд үүсэж буй хүчдэл, давтамж болон чадлын урсгалын өөрчлөлтийг симуляторын гадна холбогдсон удирдлагын модуль уруу сигнал өгнө. Ирсэн сигнал буюу хэмжилтийн

утга дээр үндэслэн инвертерийн IGBT хаалтуудыг удирдан инвертерийн гаралтын утгыг тохируулна.

Батарей хуримтлуурын удирдлагын логик /BESS control/, сүлжээ талын удирдлагын логик /Source control/ зэргийг симуляцийн орчинд үүсгэсэн байна. Батарей хуримтлуурын /BESS control/ логик нь сүлжээнд нийлүүлж буй чадлын урсгалын зохицуулалт хийх, хэт хүчдэлийн хязгаарлалт зэрэг функцүүдийг гүйцэтгэнэ. Сүлжээ талын удирдлагын локиг /Source control/ нь сүлжээ талын хүчдэл, давтамжийн өөрчлөлт, чадлын урсгалын удирдлагыг симуляцийн орчинд хийж гүйцэтгэнэ.



6-р зураг. Батарей хуримтлуур цэнэг шавхах болон цэнэглэлтийн горимд ажиллаж байгаа байдал.

ДҮГНЭЛТ

Эрчим хүчний системд гарах өөрчлөлт, шилжилтийн процессыг RTDS ашиглан Hardware-in-the-loop туршилт явуулах нь эдийн засаг, цаг хугацааны хувьд хэмнэлтэйгээр бодит туршилт хийсэнтэй дүйцэхүйц үр дүнд хүрдэг байна. RTDS-н ННЛ туршилтын арга нь үүсгэсэн загварчлалд бодит төхөөрөмжийг оруулан загварчилдаг нь бусад симуляц хийх программаас давуу тал болдог ба зөвхөн эрчим хүчний системийн загварчлалаас гадна түүнд ашиглах тоног төхөөрөмжийн хөгжүүлэлтэд ихээхэн нөлөөтэй.

ТАЛАРХАЛ

Эрдэм шинжилгээний судалгааны ажилд тусалсан ДҮТ ТӨХХК-ийн реле хамгаалалт, автоматикийн албаны хамт олонд мөн ШУТИС, ЭХС, Цахилгаан техникийн салбарын эрдэмтэн багш С.Адарсүрэн, Б.Загдхорол нарт талархал илэрхийлье.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

- [1] “Шилдэг бүтээн байгуулалтын ажил,” Диспетчерийн үндэсний төв ТӨХХК, 2023
- [2] P. M. Menghal and A. J. Laxmi, “Real time simulation: Recent progress & challenges,” in Proc. Int. Conf. Power, Signals, Controls Comput. (EPSCICON), Thrissur, India, Jan. 2012, pp. 1–6.
- [3] T. Berry, A. R. Daniels, and R. W. Dunn, “Real time simulation of power system transient behaviour,” in Proc. 3rd Int. Conf.

- Power Syst. Monitor. Control, London, U.K., Jun. 1991, pp. 122–127.
- [4] T. STRASSER - Real-Time Simulation Technologies for Power Systems Design, Testing, and Analysis IEEE Power and Energy Technology Systems Journal
- [5] C. Peters, P. Forsyth, D. Ouellette, S. Cayres, “Real-Time Digital Simulation of Wide Area Protection and Control Schemes Using Phasor Measurement Units,” RTDS Technologies Inc., Cayres Pinto Engenharia Ltda Canada, Brazil
- [6] H. W. Dommel, "Digital computer solution of electromagnetic transients in single- and multiphase networks", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, vol. pas-88, no. 4, April 1969, pp. 388-399.
- [7] Q. Dacai, “Defence schema against large disturbances in China southern power grid,” Electra, no. 257, pp. 4–16, Aug. 2011.
- [8] J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–73.
- [9] S. Gissing, P. Chaumes, J.-P. Antoine, A. Bihain, and M. Stubbe, “Advanced dispatcher training simulator,” IEEE Comput. Appl. Power, vol. 13, no. 2, pp. 25–30, Apr. 2000.
- [10] Y. Yorozu, M. Hirano, K. Oka, and Y. Tagawa, “Electron spectroscopy studies on magneto-optical media and plastic substrate interface,” IEEE Transl. J. Magn. Japan, vol. 2, pp. 740–741, August 1987 [Digests 9th Annual Conf. Magnetics Japan, p. 301, 1982].
- [11] P. G. McLaren, G. W. Swift, Z. Zhang, E. Dirks, R. P. Jayasinghe, and I. Fernando, “A new directional element for numerical distance relays,” IEEE Trans. Power Del., vol. 10, no. 2, pp. 666–675, Apr. 1995.
- [12] Y. Li, L. M. Shi, H. Zhang, and Y. Du, “Real-time simulation of linear synchronous motor in hardware-in-loop test system,” in Proc. Int. Conf. Electr. Mach. Syst., Incheon, Korea, Oct. 2010, pp. 1520–1523.
- [13] Y. Li, D. M. Vilathgamuwa, and P. C. Loh, “Design, analysis, and real-time testing of a controller for multibus microgrid system,” IEEE Trans. Power Electron., vol. 19, no. 5, pp. 1195–1204, Sep. 2004.
- [14] J. Langston et al., “Power hardware-in-the-loop testing of a 500 kW photovoltaic array inverter,” in Proc. IEEE Conf. Ind. Electron. (IECON), Montreal, QC, Canada, Oct. 2012, pp. 4797–4802.

LORA МОДУЛЬ АШИГЛАН ТЕКСТ МЕССЕЖ ИЛГЭЭХ ТӨХӨӨРӨМЖИЙН ДИЗАЙН

Т. Оюундэлгэр, Б. Төгсгөгдөр, Л. Баянбулаг, Б.Энх-Амгалан

Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Цахилгааны инженерийн салбар
Холбогдох зохиогчийн и-мэйл хаяг: oyundelger853@gmail.com, enkhamgalan@must.edu.mn

Хураангуй— Энэхүү судалгааны ажлаар алс зайд утасгүйгээр мэдээлэл дамжуулах боломжтой радио модуль LoRa-ийг ашиглан текст мессеж илгээх боломжтой төхөөрөмжийн судалгаа, зөөврийн төхөөрөмжийн батарей сонголтын тооцоо, холболтын схем зураг, удирдлагын программын алгоритмыг бүрэн боловсруулж хэрэгжүүлсэн. Симуляц болон туршилтын үр дүнгээс харахад ийм төхөөрөмжийг зохион бүтээж, ашиглах бүрэн боломжтойг харуулсан.

Түлхүүр үг— матриц товчлуур, микроконтроллер, тоон үсгэн товчлуур, утасгүй сүлжээ

I. УДИРТГАЛ

Хотын төвөөс алслагдсан газарт оршин суугчид үүрэн холбооны үйлчилгээ авахад үүрэн холбооны оператор компанийн сүлжээ ороогүй асуудал элбэг байдаг. Энэ асуудал дэлхий дахинд тохиолдож байгаа бөгөөд одоогийн байдлаар хөдөө орон нутаг эсвэл хотын төвөөс алслагдсан газарт гар утастай ч операторын үйлчилгээгүй 1.2 тэрбум хүн (дэлхийн хүн амын 16%) байгаа гэсэн тооцоо бий [1]. Ихэнх тохиолдолд хөдөө орон нутгийн оршин суугчид суурин утас, интернэт зэрэг бусад харилцаа холбооны хэрэгсэлгүй байдаг [2].

Үүнээс гадна байгалийн гамшиг бидний хяналтаас гадуур, нийгэмд маш их хор хөнөөл үзүүлж байна. Эдгээр байгалийн гамшигт улс орны аюулгүй байдлын хүчин, тэр дундаа аврах баг, гал унтраах баг зэрэг мэргэжлийн байгууллага, хяналт, арга хэмжээ авах шаардлагатай байдаг. Байгалийн гамшиг тохиолдсон үед үүрэн холбооны станцууд нь өөрөө байгалийн гамшигт өртсөн эсвэл цахим халдлагад өрсөн үед үйлчилгээгээ үзүүлж чадахгүй болдог [3]. Мөн үүрэн холбооны үйлчилгээ нэвтрээгүй нутагт аврах ажиллагаа явуулах шаардлага гардаг. Текст мэдээллийн систем нь гамшигт нэрвэгдсэн хүмүүс, яаралтай тусламжийн баг, олон нийтийн дунд үр дүнтэй харилцаа холбоо, мэдээлэл түгээх боломжийг олгож өгөх ач холбогдолтой юм.

Техник хангамж, программ хангамж, харилцаа холбооны салбарт технологийн дэвшил гарч байгаа өнөө үед хөдөө орон нутаг харилцаа холбооны системээс тусгаарлагдсан нь асуудал болж байна [4]. Мөн үүрэн холбооны үйлчилгээ нь үнэ, тариф өндөр байдаг ба тэр тусмаа урьдчилсан төлбөрт хэрэглэгчид байнга гар утасны сим картыг нэгжээр цэнэглэх шаардлага гарч, нэгж нь дууссан л бол ашиглаж чадахгүй байх хүндрэлтэй байдаг. Иймээс эдгээр асуудлуудыг текст мэдээлэл илгээх төхөөрөмжийг ашиглан шийдвэрлэх боломжтой юм.

II. ОНОЛЫН ХЭСЭГ

A. LoRa буюу бага чадалтай алс зайд радио долгион дамжуулах технологи

LoRa (Long Range) нь бага чадлын chirp spread spectrum (CSS) технологид суурилсан тархалтын спектрийн модуляцийн арга юм. Semtech-ийн LoRa төхөөрөмжүүд ба утасгүй радио давтамжийн технологи болон алс зайн, бага чадлын утасгүй платформ юм. LoRa нь хот суурин газарт таван километр, хөдөө орон нутагт 15 километр ба түүнээс дээш алс зайд харилцаа холбоог хангах боломжтой. LoRa-д суурилсан шийдлүүдийн гол шинж чанар нь маш бага эрчим хүчний хэрэгцээ бөгөөд энэ нь 10 хүртэл жил ажиллах боломжтой батарейгаар ажилладаг төхөөрөмжүүдийг бий болгох боломжийг олгодог.

LoRa төхөөрөмжүүд болон LoRaWAN протокол нь ухаалаг хот, ухаалаг байшин, барилга байгууламж, ухаалаг хөдөө аж ахуй, ухаалаг тоолуур, ухаалаг хангамжийн сүлжээ ба логистик гэх мэт олон зуун хэрэглэгдэхүүнийг хийхэд хэрэгтэй өргөн нэвтэрч буй технологи юм. 1-р хүснэгтээр утасгүй технологийн техник үзүүлэлтийг харьцуулан үзүүлэв. Эндээс харахад LoRa модуль нь зөөврийн төхөөрөмжийн хамгийн чухал үзүүлэлт болох эрчим хүчний хэрэглээ бага бөгөөд хамгийн алс зайд мэдээллийг дамжуулах боломжтой нь харагдаж байна.

УТАСГҮЙ ТЕХНОЛОГИЙН ҮНДСЭН ШИНЖ ЧАНАРУУДЫН
ХАРЬЦУУЛАЛТ

1-р ХҮСНЭГТ.

	Bluetooth	ZigBee	Wi-Fi	LoRa	LTE
Стандарт	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.4	IEEE 802.11 ah	IEEE 802.15 g	3GPP
Сүлжээний төрлүүд	P2P	Mesh	WLAN	LPWAN	GERAN
Эрчим хүчний хэрэглээ	Very Low	Low	High	Very Low	Medium

Өгөгдлийн хурд	1Mbps	0.25 Mbps	7000 Mbps хүртэл	250 kbps	0.1-1 Gbps
Хүрээ	35 м	10-100 м	1 км	100 км	28/10 км
Спектр	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4-5 GHz	868-915 MHz	700-2600 MHz

Радио модулийн сигналын хүлээн авах сигналын чанарыг RSSI буюу received signal strength indicator гэх параметрээр илтгэж үзүүлдэг бөгөөд энэ параметрийн хэмжээ ямар байхаас хамаарч LoRa төхөөрөмж сигналыг ямар хэмжээнд хүлээн авахыг 1-р зурагт үзүүлэв.

RSSI	Signal Strength
> -70 dBm	Excellent
-70 dBm to -85 dBm	Good
-86 dBm to -100 dBm	Fair
< -100 dBm	Poor
-110 dBm	No signal

1-р зураг. Хүлээн авсан дохионы хүч чадлын үзүүлэлт

В. LoRa технологийн онцлог

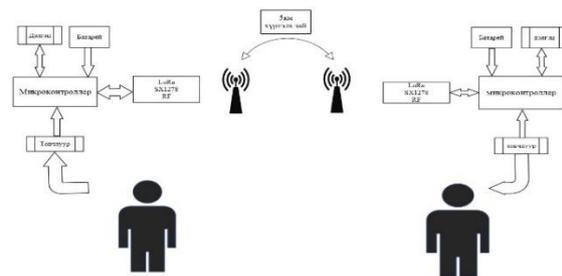
LoRa модуль нь Европт 433 МГц, 868 МГц, Австрали ба Хойд Америкт 915 МГц, Энэтхэгт 865-1867 МГц, Азид 923 МГц лицензгүй дэд МГц радио давтамжийн зурвасуудыг ашигладаг. LoRa нь бага эрчим хүч зарцуулж алс зайд мэдээллийг дамжуулах боломжтой. LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) гэх мэт бусад технологи, протоколууд дээд давхаргыг хамардаг. Энэ нь тархалтын хүчин зүйлээс хамааран 0.3-27 кбит/с-ийн хоорондох өгөгдлийн хурдыг авах боломжтой.

С. LoRa технологийн агаарт дамжуулах WAN сүлжээ

LoRa нь доод физик давхаргыг тодорхойлдог тул сүлжээний дээд давхаргууд дутагдалтай байдаг нь LoRa WAN сүлжээний дээд давхаргыг тодорхойлох хэд хэдэн протоколын нэг юм. LoRaWAN нь сүлжээний холбооны протокол ба системийн архитектурыг тодорхойлдог бол LoRa модулийн физик давхарга нь алсын зайн холбооны холболтыг идэвхжүүлдэг. LoRaWAN нь бүх төхөөрөмжүүдийн холбооны давтамж, өгөгдлийн хурд, хүчийг удирдах үүрэгтэй.

Е. Текст мэдээлэл илгээх төхөөрөмжийн ерөнхий блок диаграмм

Текст мэдээлэл илгээх төхөөрөмж нь батарей, LoRa модуль, микроконтроллер, текст бичих товчлуур, мэдээллийг үзүүлэх дэлгэц зэрэг хэсгүүдээс бүрдэнэ. Хэрэглэгчид нь ижилхэн програмтай хоёр зөөврийн төхөөрөмжөөр хангагдах ба 5км хүртэлх зайд хоорондоо текст мессеж илгээх боломжтой бөгөөд 2-р зурагт ерөнхий блок диаграммыг үзүүлэв.



2-р зураг. Ерөнхий блок диаграмм

Ф. LoRa антен

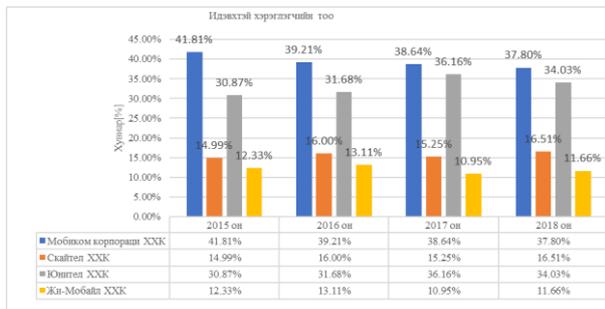
LoRa нь янз бүрийн давтамжийн зурваст ажилладаг бөгөөд антенны сонголт нь тодорхой LoRa сүлжээнд хэрэглэгддэг давтамжийн зурвастай тохирч байх ёстой. LoRa-ийн нийтлэг давтамжийн зурваст 868 МГц (Европ) болон 915 МГц (Хойд Америк) орно. Модулийг антентай холбосон кабелийн төрөл, урт нь ажиллагаанд нь нөлөөлдөг. Алдагдал багатай кабель болон тохирох холбогчийг ашиглах хэрэгтэй. Антенныг сонгохдоо давтамжийн хүрээ, байршуулах орчин, зохицуулалтын хязгаарлалт гэх мэт өөрт ашиглагдах модулийн онцлог шаардлагыг харгалзан үзэж сонгох нь чухал юм. 3-р зурагт ашигласан Sx1278 LoRa модуль болон түүний антенныг үзүүлэв.



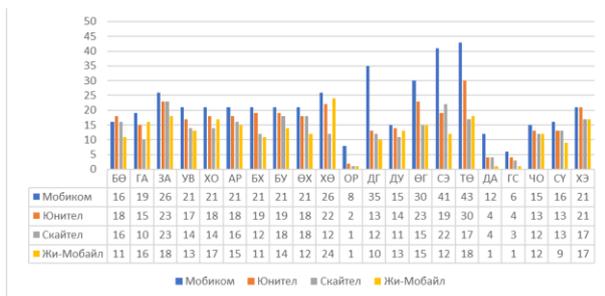
3-р зураг. Лора антен

Г. Монгол орны үүрэн холбооны өнөөгийн байдал

Монгол улсын харилцаа холбооны салбарт 1995 оноос үүрэн холбооны үйлчилгээ эрхлэх тусгай зөвшөөрлийг олгож эхэлсэн бөгөөд одоогийн байдлаар Мобиком корпорац ХХК, Скайтел ХХК, Юнител ХХК, Жи-Мобайл ХХК үүрэн холбооны үйлчилгээ эрхэлж байна. МХХТ нь бусад шинжлэх ухааныг бодвол харьцангуй хурдан өөрчлөгдөж, хөгжиж байгаа салбар билээ. Энэ салбарт техник технологийн том жижиг, олон мянган шинэ шийдэл, бүтээл гардаг [19]. Хамрах хүрээ нь хот суурин газрын үүрэн холбооны сүлжээний хамрах хүрээ сайн хөгжсөн байх хандлагатай боловч алслагдсан болон хөдөө орон нутгийн хамрах хүрээ өөр өөр байна.



4-р зураг. Үүрэн холбооны идэвхтэй хэрэглэгч /мян.хэрэглэгч/



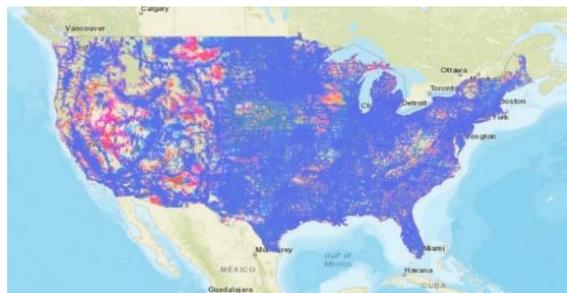
5-р зураг. Үүрэн холбооны аймаг тус бүрийн хамрах хүрээ тэдгээрийн дундажтай харьцуулалт.



6-р зураг. Мобиком корпорацийн сүлжээний хамрах хүрээ



7-р зураг. Юнител группийн сүлжээний хамрах хүрээ



8-р зураг. АНУ-ын хамрах хүрээний газрын зураг (FCC)-ээс авсан зураг

6-өөс 8-р зурагт Монголын үүрэн холбооны хамрах хүрээ болон өндөр хөгжилтэй Америкийн нэгдсэн улсын үүрэн холбооны хамрах хүрээг харьцуулан харвал Монгол улсын хамрах хүрээ нь зам дагуу, хотын төв, сумын төв зэрэг газрууд хамрагдсан боловч суурин газраас хэдхэн километр холдоход хөдөө хээр талаар хамрах хүрээ байхгүй байгаа нь харагдаж байна. Харин АНУ-ын хамрах хүрээ нь сүлжээ бүхэлдээ жигд тархсан байна. Эндээс Монгол орны нөхцөлд үүрэн сүлжээний хамрах хүрээ хангалтгүй байгаа нь харагдаж байна. Иймд, операторын үйлчилгээнд байнгын тогтмол төлбөр төлөх шаардлагагүй, дамжуулах станцын сүлжээний хамрах хүрээнээс үл хамаарч бие биетэйгээ тасралтгүй холбоогоор хангагдах боломжийг энэ төхөөрөмж олгох боломжтой юм.

Ш. БАТАРЕЙНЫ ХҮЧДЭЛ БА БАГТААМЖ СОНГОЛТ ТООЦОО

Ардуино нано хавтангийн Vin хөлд 7-12 В хүчдэл өгөх ёстой. LiPo батарей нэг зай нь 3.7 В бүрэн цэнэглэгдсэн үед 4.2 В болдог.

$$V_{bat} = V_{cell} \times n = 3.7 \times 2 = 7.4 \text{ В} \quad (1)$$

Энд V_{bat} батарейны нийт хүчдэл, V_{cell} нэг ширхэг зайны хүчдэл, n цуваа холбогдсон зайны тоо. Ардуино нано хавтангийн гүйдэл $I_{nano} = 19\text{mA}$, OLED дэлгэцийн ажлын гүйдэл $I_{OLED} = 15\text{mA}$, LoRa модулийн өгөгдөл дамжуулах гүйдэл $I_{LoRa} = 10.8\text{mA}$, матриц товчлуурийн хэрэглэх гүйдэл $I_{MAT} = 30\text{mA}$ эндээс текстэн мэдээлэл илгээх төхөөрөмжийн хамгийн их шаардлагатай гүйдлийн хэмжээг тооцоолбол

$$I_{TOTAL} = I_{nano} + I_{OLED} + I_{LoRa} + I_{MAT} \quad (2)$$

$$= 19\text{mA} + 15\text{mA} + 10.8\text{mA} + 30\text{mA}$$

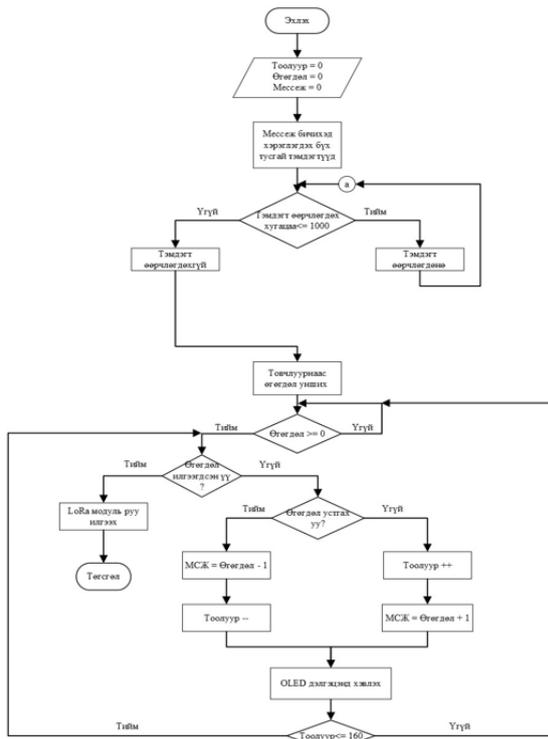
$$= 74.8\text{mA}$$

Батарейнаас авах нийт гүйдэл нь $I_{TOTAL} = 74.8\text{mA}$ тул бусад хоосон зайн хэмжээ зэргийг бодолцож $C_{LiPo} = 520\text{mA} \cdot \text{ц}$ багтаамжтай LiPo батарейг сонгосон. Энэ батарей нэг бүрэн цэнэглэлтээр ашиглах хугацааг тооцоолбол онолын хувьд

$$t_{bat} = \frac{C_{LiPo}}{I_{TOTAL}} = \frac{520 \text{ мАц}}{74.8 \text{ мА}} \approx 7 \text{ цаг}$$

Энэ батарей багтаамж $t_{bat} > 5$ цаг байгаа тул шаардлагыг хангаж байна. Нэг удаагийн бүрэн цэнэглэлтээр 5 цаг идэвхтэй тест мессеж тасралтгүй бичиж илгээх боломжтой юм. Энэ нь бидний хэрэглэж буй ихэнх гар утастай төстэй үзүүлэлт тул хэвийн хэрэглээнд хангалттай гэж үзэв. Текст мессеж илгээх төхөөрөмжийн алгоритмыг 9-р зурагт үзүүлэв.

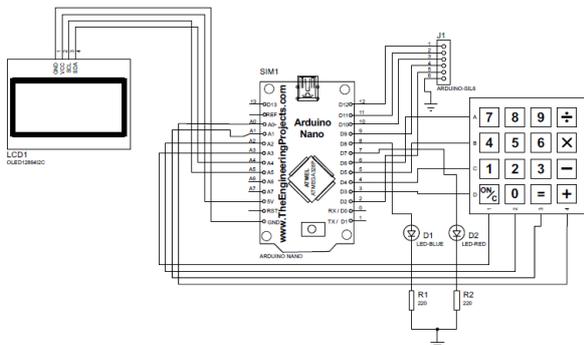
А. Текст мэдээлэл илгээх төхөөрөмжийн алгоритм



9-р зураг. Товчлуур, OLED дэлгэцтэй харьцах алгоритм

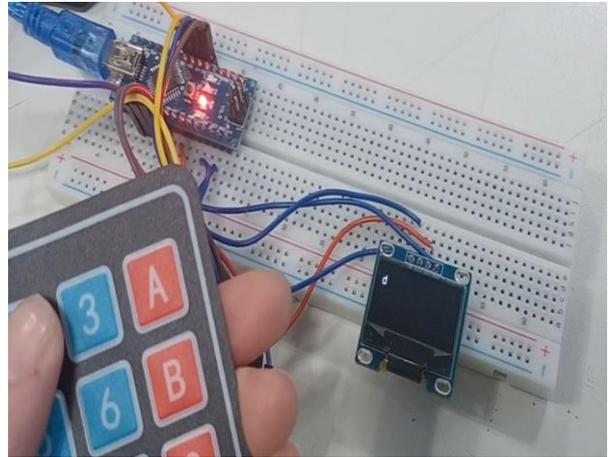
IV. ТУРШИЛТ

Төхөөрөмжийн товчлуураас дэлгэцэнд мэдээлэл гаргах симуляцийг Proteus 8 программ дээр туршсан байдал.



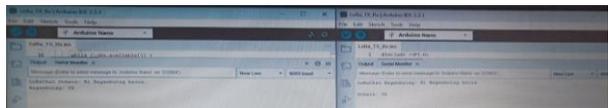
10-р зураг. Proteus программ дээр симуляци хийсэн схем

Текстэн мэдээлэл илгээх төхөөрөмжийн туршилтийг тус тусад нь туршиж ажиллуулж үзсэн. Эхлээд дэлгэц болон товчлуурын туршилтыг хийж дэлгэцэд товлуураас үсэг болон тоо, тусгай тэмдэгт зэргийг гаргасан.

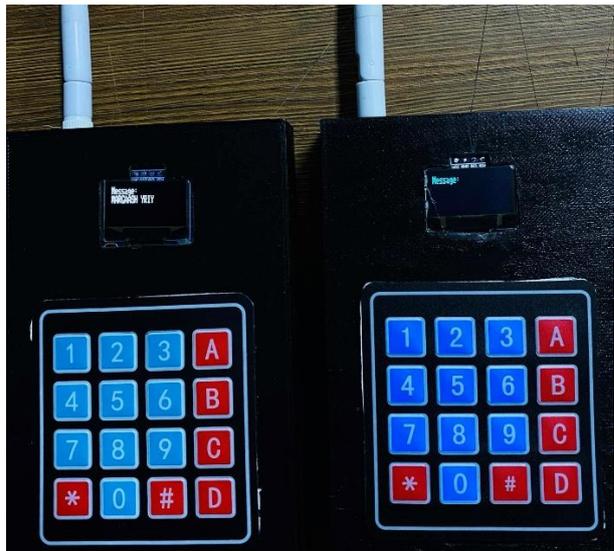


11-р зураг. Дэлгэц, товчлуурын туршилт

Хоёр SX1278 LoRa модулийг хооронд нь холбон туршиж Arduino програмын Serial Monitor-оор харж мэдээллийг хооронд нь дамжуулсан туршилтын үр дүнг 12-р зурагт үзүүлэв.



12-р зураг. LoRa модулиудын хоорондоо мэдээлэл дамжуулж буй туршилт



13-р зураг. Төхөөрөмж хооронд мэдээлэл дамжуулж буй туршилтын явц



14-р зураг. Төхөөрөмж хооронд мэдээлэл дамжуулахад хүлээж авч буй туршилтын явц

V. ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгааны ажлаар сүлжээгүй орчинд LoRa модуль ашиглан хот суурингаас алслагдсан гар утасны сүлжээгүй үед ч түргэн шуурхай, үнэ төлбөргүй текст мэдээлэл илгээх боломжтой төхөөрөмж зохион бүтээхийг зорьсон. Үүний тулд текст мэдээлэл дамжуулах технологи, Монгол улсын үүрэн холбооны өнөөгийн байдал аль бүс нутгаар хамрах хүрээ их, аль бүс нутгаар хамрах хүрээ бага байгааг судалж үзсэн. Манай улсын хувьд өндөр хөгжилтэй орнуудтай харьцуулахад хамрах хүрээ нь хот болон суурин газруудаар хамрах хүрээ их харин хотын төвөөс алслагдсан бүс нутгуудаар хамрах хүрээ бага байгаа нь текст мэдээлэл илгээх төхөөрөмж нь алслагдсан бүс нутгуудаар хэрэгтэй болохыг илтгэж байна. LoRa модулиудын хооронд текст мэдээлэл дамжуулах симуляц болон туршилтыг амжилттай хийж гүйцэтгэсэн.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

- [1] C. Z. a. G. R. F. Gimenez, "Extending SMS Service Coverage in Rural Areas," p. 214, 2/2/2020.
- [2] J. N.-O. N. C.-R. Felix Delgado-Ferro, "A LoRaWAN Architecture for Communications in Areas without Coverage: Design and Pilot Trials," Electronics, pp. 2-3, November 2022.
- [3] J. N.-O. N. C.-R. Felix Delgado-Ferro, "A LoRaWAN Architecture for Communications in Areas without Coverage: Design and Pilot Trials," Electronics, pp. 2-3, November 2022.
- [4] B. B. a. D. Zorbas, "Infrastructure-less Long-Range Text-Messaging," pp. 1-2.

- [5] R. Morris ба J. Pinchot, "Information Systems Applied Research," 2010.
- [6] Dr.V.M.Thakare, "Short Message Service using SMS Gateway," б. II, April 2010.
- [7] L. C. Robert Andersson, "Multimedia Messaging Service Front End for Supplementary Messaging Services," Department of Information Technology, p. 9, 2010.
- [8] "https://www.textline.com/blog/types-of-mobile-messages".
- [9] C. NGAК, "Teens are sending 60 texts a day, study says," CBS NEWS, 19 March 2012.
- [10] "Filipinos sent 1 billion text messages," technology.inquirer.net, 4 March 2008.
- [11] https://www.mokolora.com/what-is-a-lora-module/.
- [12] "Харилцаа холбооны зохицуулах хорооны статистик үзүүлэлт".
- [13] "Харилцаа холбооны салбарын 2021 оны үндсэн үзүүлэлтүүд," 2022.04.19.
- [14] Ali Mohamed, "Enhancing Cyber Security of LoRaWAN Gateways under Adversarial Attacks," Sensor, pp. 6-7, 4 May 2022.
- [15] C. Z. a. G. R. F. Gimenez, "Extending SMS Service Coverage in Rural Areas," p. 214, 2020.
- [16] C. Sibthorpe, "Insights from the GSMA Innovation Fund for Rural Connectivity," GSMA Innovation, pp. 04-27, December 2022.
- [17] C. TAGG, "A CORPUS LINGUISTICS STUDY OF SMS TEXT MESSAGING," pp. 11-12, March 2009.
- [18] A. Bogle, "It's been 25 years since the first-ever text message and the kids are alright," Australian Broadcasting Corporation., 3 December 2017.
- [19] A. P. K. a. N. Arceneaux, "Casting a Powerful Spell: The Evolution of SMS," pp. 107-108, 2008.
- [20] M. Dresser, "PCS network launched in Baltimore-D.C. area - First system in nation offers digital challenge to cellular phone industry," The Baltimore Sun, 16 November 1995.
- [21] "GSM World press release," gsmworld.com, 12 February 2001.
- [22] N. e. K. a. H. e. G. Rasha el Stohy, "A Proposed System for Push Messaging on Android," б. X, %1-ийн д.д3, pp. 29-30, 2016.
- [23] A. Yellakonda, "DESIGN AND IMPLEMENTATION OF RICH COMMUNICATION SERVICE SCENARIO REPLAYER AND PERFORMANCE EVALUATION OF APPLICATION SERVICE," September 2015.
- [24] K. I. Wani, "Evaluating LoRa/LoRaWAN performance and scalability," June 2021.
- [25] https://www.cisco.com/c/en/us/products/wireless/what-is-wifi.html.
- [26] T. A. R. H. S. F. K. Olakunle Elijah, "Factors that Impact LoRa IoT Communication Technology," Wireless Communication Center, pp. 1-6, December 2019.
- [27] Ж.Баатархүү /МУ-ын Зөвлөх инженер, "МОНГОЛЫН ХАРИЛЦАА ХОЛБООНЫ ХӨГЖЛИЙН СУДАЛГАА," 2018.
- [28] Зураг, "https://www.unitel.mn/unitel/helpdesk/coverage". зураг, "https://www.mobicom.mn/mn/coverage/#?".

ӨНДӨР ХУРДАЙ ШУГАМ ДАГАГЧ РОБОТ ДЭЭРХ PID УДИРДЛАГЫН ХЭРЭГЖҮҮЛЭЛТ

О.Батсуурь, Б.Энх-Амгалан

Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Цахилгаан техникийн салбар,
Холбогдох зохиогчийн и-мэйл хаяг: odbayrbatsuuri994@gmail.com, enkhamgalan@must.edu.mn

Хураангуй—Энэхүү судалгааны ажлаар гэдрэг холбоотой удирдлагын системийн үндсэн арга болох PID удирдлагыг өндөр хурдтай шугам дагагч робот дээр хэрэгжүүлсэн. Энэ робот нь жил бүр зохиогддог шугам дагагч роботын тэмцээний удирдамжаас өгөгдсөн траекторыг даган, нийт замыг богино хугацаанд туулах ёстой байдаг. Туршилтын үр дүнгээс харахад PID удирдлагыг төрөл бүрийн траекторт тохируулан роботыг амжилттай удирдах боломжтойг харуулсан.

Түлхүүр үг— автомат удирдлага, робот, PID, шугам дагагч робот

I. УДИРТГАЛ

Шугам дагагч робот (ШДР) нь цагаан өнгийн дэвсгэртэй шалан дээр хар өнгийн шугамыг эсвэл өнгө нь эсрэгээр байх тохиолдолд бэлтгэсэн дурын муруй шугамыг автоматаар дагаж хөдлөх чадвартай робот юм. ШДР нь инфра улаан туяаны мэдрүүрүүдийн тусламжтайгаар туузан шугамыг мэдэрч уншигдсан мэдээлэл дээр үндэслэн өөрийгөө удирддаг. Энэ төрлийн роботыг камер ашиглан хийж болох боловч дүрс боловсруулалт нь өндөр өртөгтэй төхөөрөмжүүд шаарддаг мөн роботын ажиллагаа хэтэрхий нийлмэл болдог. Эдгээр мэдрүүрүүдийн гаралт болох аналог эсвэл тоон сигнал нь микроконтроллер дээр шугам дагах алгоритм ажиллахад хэрэглэгддэг. Энэ алгоритм ажилласнаар роботын моторуудыг эргүүлэхэд шаардлагатай импульсийн өргөнөөр модуляцлагдсан сигналуудыг үүсгэн, ШДР-ыг шугамын ойролцоо хөдөлгөдөг.

Энэ роботын даалгаврын хамгийн үндсэн хүндрэлтэй асуудал нь ШДР шугамыг өндөр нарийвчлалтай шугамын дагуу тэгшхэн дагаж хөдлөх явдал юм. Энэ асуудлыг шийдэхийн тулд ШДР нь шугамыг роботын төв тэнхлэг дээр байрлаж байгаа эсэхийг мэдрүүрээр мэдрэх шаардлагатай. Дагах шугам болон ШДР-ын төв тэнхлэг хоёрын хоорондох зайн зөрүү буюу алдааг мэдэрсний дараагаар микроконтроллер удирдлагын системийг ашиглан гаралтын сигналыг боловсруулдаг.

ШДР нь эхэн үедээ энгийн on-off буюу зөвхөн залгаж салгах хоёр төлөвт удирдлагатай хийгддэг байсан. Улмаар робот судлаачид автомат удирдлагын арга техникүүдийг энэхүү робот дээр туршиж эхэлсэн. Автомат удирдлагын хамгийн түгээмэл хэрэглэгддэг пропорциональ-интеграл-дифференциал удирдлага товчоор PID удирдлагыг ШДР дээр компьютерын симуляцаар [2, 6, 10] дээр хийж гүйцэтгэжээ. Мөн тойрог хэлбэртэй замыг жигд хурдтай туулах аргачлалыг [1] дээр математик аргачлалаар

загварчилж симуляц хийн, мөн туршилтаар үр дүн баталгаажуулсан байна. Харин энэхүү роботын ажиллагааг жигд гөлгөр болон төрөл бүрийн өнгийн гадаргуу болон орчны гэрэлтэлт ялгаатай нөхцөлд [8] дээр туршилт хийжээ. Үүнээс гадна энэ роботыг [5] дээр эмнэлгийн салбарт эм тариа болон багаж хэрэгслийг хязгаарлагдмал орчинд зөөж тээвэрлэхэд зориулан боловсруулсан. Гэхдээ эдгээр бүх ажлууд дээр уг ШДР-ын зөвхөн нарийвчлал ба найдвартай байдлыг анхаарч судалсан байна.

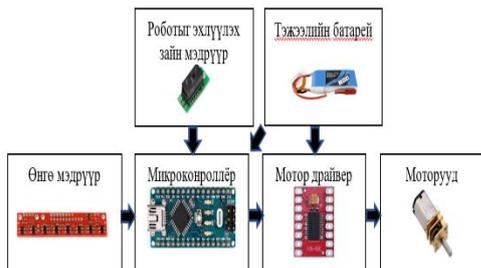
Харин ШДР-ыг өндөр хурдтайгаар өгөгдсөн траекторыг дагахад үүсэх асуудлууд болон түүнийг хэрхэн даван туулах аргачлалыг [4] дээр судалжээ. Мөн түүнчлэн энэхүү роботын удирдлагыг улам боловсронгуй болгох үүднээс траекторын хэлбэр болон роботын хурд өөрчлөгдсөн нөхцөлд дасан зохицох чадвартай тодорхой бус логикоор PID удирдлагын коэффициентуудыг автоматаар өөрөө тохируулдаг удирдлагыг [9] дээр судалсан.

Энэ судалгааны ажил дээр өгөгдсөн дурын траекторыг өндөр хурдтайгаар туулах ШДР-ын дизайн ба түүний удирдлагын алгоритмыг боловсруулсан.

II. ШДР-ЫН БҮТЭЦ БА ДИЗАЙН

ШДР нь үндсэн найман хэсгээс бүрддэг. Үүнд: шугамын байрлалыг мэдрэх гадаргуугийн өнгө мэдрэгч, мэдрэгчээс ирсэн мэдээлэл дээр тооцоолол хийж моторыг удирдах микроконтроллер, удирдлагын сигналыг боловсруулан моторыг удирдах мотор драйвер, мотор драйвераас ирсэн сигналын дагуу роботыг хөдөлгөх моторууд, роботыг эхлүүлэх сигналыг өгөх зайн мэдрүүр, эдгээрийг цахилгаан энергиэр хангах батарей, роботын их бие болон дугуйнууд зэрэг юм. ШДР-ын ажиллагааны ерөнхий бүдүүвчийг 1-р зурагт харуулав. Роботыг хөдөлгөж эхлэх сигнал зайн мэдрүүрээс ирсэн үед микроконтроллер өнгө

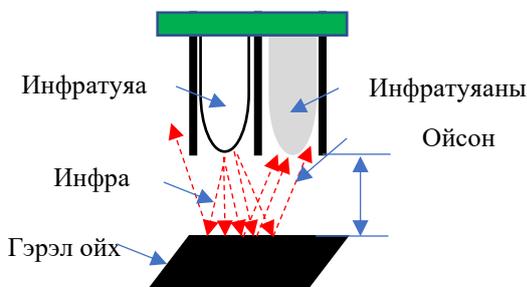
мэдрэгчээс ирсэн мэдээллийг уншиж дагах шугамын байрлалыг тодорхойлдог. Улмаар микроконтроллер бичигдсэн алгоритмын дагуу тооцоо хийж мотор драйверт моторуудыг ямар хурдтай эргэлт хийх сигналыг боловсруулдаг. Уг сигналыг хүлээн авсан мотор драйвер моторын эргэлтийн хурдыг удирдах хүчдэлийг моторт өгснөөр моторууд эргэлдэн, ШДР хөдөлж эхэлдэг.



1-р зураг. ШДР-ын ажиллагааны ерөнхий бүтэц

А. Инфра туяаны мэдрүүр түүний бүтэц ажиллагаа

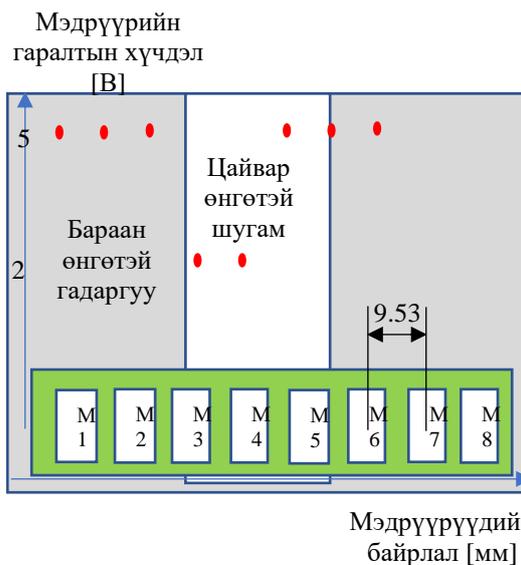
Өнгө мэдрэх мэдрүүрүүд олон төрөл байдаг. Жишээ нь фотоэсэргүүцэл, фототранзистор болон видео камер гэх мэт. Фотоэсэргүүцэлтэй харьцуулахад фотодиод ашигласан мэдрүүрийн хурд өндөр ба орчны гэрэлд мэдрэмж бага байдаг. Харин видео камертай харьцуулахад процессорын хүчин чадал бага шаардагддаг тул инфратуяа мэдрэгч фотодиодтой мэдрүүрийг ШДР-д ашигласан. Инфратуяаны мэдрүүрийн бүтцийг 2-р зурагт үзүүлэв. Инфратуяа цацруулагч диодоос ялгарах гэрлийн цацрагийн зарим хэсэг нь гадаргууд шингэж харин зарим хэсэг нь гадаргуугаас ойдог. Уг гэрэл тусч буй гадаргуугийн өнгө хар (бараан) байвал гэрлийн цацраг гадаргууд ихээр шингэдэг бол цагаан (цайвар) гадаргуугаас цацраг ихээр ойдог. Энэ ойсон гэрлийн цацрагийг инфратуяаны мэдрэгч диод мэдрч дотоод эсэргүүцэл нь өөрчлөлдөг. Ийм зарчмаар гадаргуугийн өнгийг тодорхойлдог. Өнгө мэдрэх мэдрүүрийн алдааг багасгах үүднээс аль болох гадаргууд ойр 3~9.3мм зайд байрлуулж орчны гэрлийн нөлөөг бууруулдаг.



2-р зураг. Мэдрүүрийн бүтэц

ШДР-д ашигласан өнгө мэдрэгч мэдрүүрийн цахилгаан хэлхээг 3-р зурагт үзүүлэв. Энэ мэдрүүр

нь нэг шулууны дагуу байрласан найман хос мэдрүүрээс тогтдог. Мэдрүүрүүдийн байрлал болон тэдгээрийн гадаргуугийн өнгөнөөс хамаарч уншигдах утгуудыг үзүүлэв. Мэдрүүр хоорондын зай нь 9.53мм. Хар (бараан) өнгийн гадаргуу дээр байрласан мэдрүүрүүд гаралтдаа 5В хүчдэл заана. Харин цагаан (цайвар) өнгийн гадаргуу дээр байрласан мэдрүүрүүд гаралтдаа 2.2В хүчдэл заадаг. Иймд 2.2В хүчдэл зааж буй байрлалд цагаан өнгийн шугам байрлаж байгааг мэдрүүр илтгэнэ.



3-р зураг. Мэдрүүрийн хэмжээс ба утга

В. Мэдрүүрийн мэдээллээс байрлалын алдааг тооцоолох

ШДР-ийн мэдрэх зураасны өргөн нь 19мм. Иймд ШДР шугамын дагуу чигээрээ (эгц) хөдлөхөд М4 ба М5 мэдрүүрүүд цагаан шугамыг мэдэрнэ. Харин ШДР хазайсан тохиолдолд бусад мэдрүүр лүү цагаан шугам шилжинэ. Уг шугам ШДР-ийн төвөөс аль зүгт ямар зайд шилжилт хийснийг тодорхойлохын тулд М1-ээс М8 хүртэлх мэдрүүрүүдэд [-1500, -1000, -500, 0, 0, 500, 1000, 1500] гэсэн утгууд оноосон.

III. PID УДИРДЛАГА

Мэдрүүрүүдийн тохиргоо хийх алгоритм ажиллуулсны дараагаар бид PID удирдлагын алгоритмыг ШДР-ын удирдлагад хэрэглэсэн. PID удирдлагын хугацааны тасралтгүй горим дахь хэлбэрийг (1)-р тэгшитгэлээр үзүүлэв.

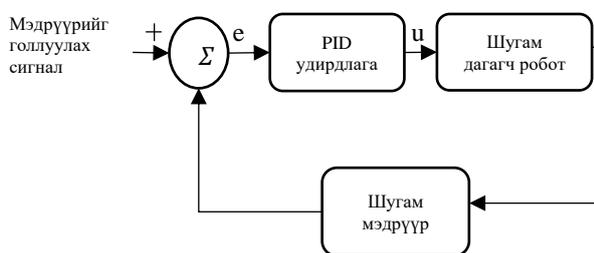
$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (1)$$

Үүнд: K_p , K_i ба K_d нь харгалзан пропорциональ, интеграл ба дифференциал алдаануудын өсгөлтийн тогтмол коэффициентууд. $u(t)$ нь моторын удирдлагын хэлхээнд өгөгдөх сигнал юм. Харин энэхүү удирдлагын системийг хугацааны хувьд тасралттай тоон системд хэрэгжүүлэхдээ Эйлерийн

урвуу аргаар PID удирдлагын томьёог хувиргаж ялгаврын томьёо хэлбэртэй дахин бичвэл

$$u(n) = K_p e(n) + K_i t_s (e(n-1) + e(n)) + (K_d / t_s) (e(n) - e(n-1)) \quad (2)$$

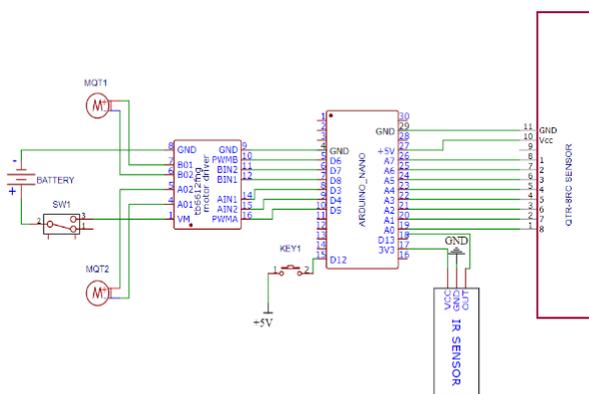
Үүнд: t_s нь удирдлагын сигнал $u(n)$ нь микроконтроллер давтан бодогдох хүртэлх хугацаа бөгөөд энэ хугацаа аль болох бага байх тусам роботын ажиллагаа сайжирдаг, $e(n)$ нь хугацааны n дүгээр агшин дахь алдаа, $e(n-1)$ нь өмнөх агшин дахь алдааны утга юм. Програмд ШДР-ыг ажиллуулж эхлэхэд $e(n-1)$ алдааг тэгтэй тэнцүү утгатай авдаг. ШДР-ын удирдлагын схемийг 4-р зургаар үзүүлэв.



4-р зураг. ШДР-ын удирдлагын бүдүүвч

IV. ХЭРЭГЖҮҮЛЭЛТ БА ТУРШИЛТЫН ҮР ДҮН

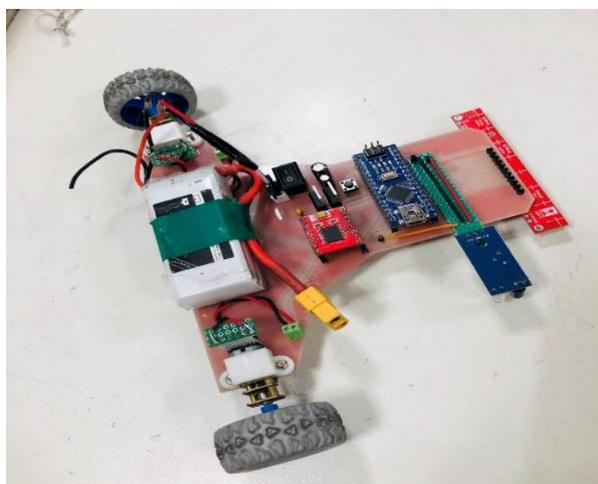
ШДР-ыг биетээр бүтээн хэрэгжүүлсэн ба ШДР, ШДР-ын цахилгаан хэлхээний схемийг 5, 6-р зурагт харуулав. ШДР-ын цахилгаан хэлхээний схем нь өнгө мэдрүүр, хажуугийн өнгө мэдрүүр микроконтроллер, мотор драйвер, моторууд, тэжээлийн батарей, түлхүүр зэргээс бүрдсэн ба роботын механик эд ангийн давших дугуйн радиус нь 3 см, зузаан нь 2 см, сул эргэх дугуйн радиус нь 5 мм юм. 6-р зургийн а-д ШДР-ын тэмцээний үеийн явалтын зургийг тусган харуулав.



5-р зураг. ШДР-ын цахилгаан хэлхээ



(a)



(б)

6-р зураг. (a) Тэмцээний үеийн ШДР-ын фото зураг, (б) Угсарсан ШДР-ын фото зураг

ШДР-ЫН ЦАХИЛГААН ЭД АНГИЙН ТЕХНИК ҮЗҮҮЛЭЛТ

1-Р ХУСНЭГТ.

Робот системийн параметрууд	Хэвийн хүчдэл [В]	Хэвийн гүйдэл
Шугам мэдрүүр (QTRC)	3.3-5.0	100 мА
Мотор драйвер (ТВ6612FNG)	4.5-15	1.2 А
Микроконтроллер Arduino (Nano)	5	40 мА
Тогтмол гүйдлийн мотор (HPCB)	12	1.5 А
Зайн мэдрүүр	2.7-6.2	5 мА
Батарей	7.4	800 мА*ц

ШДР-ыг 7-р зурагт үзүүлсэн талбайд туршилт хийсэн ба туршилтаар тогтоосон PID удирдлагын коэффициентуудыг 2-р хүснэгтэд тусгав.



7-р зураг. Туршилт хийгдсэн талбай

Туршилтын талбайн хэлбэр болон хэмжээ харгалзах бартаа зэргийг тэмцээний өмнө шүүгчид оролцогчдод үзүүлдэг. Тэмцээн эхлэхээс өмнө хэд хэдэн удаа туршиж өөрсдийн роботын тохиргоог хийх боломжийг оролцогч бүрд олгодог бөгөөд 7-р зурагт оролцсон тэмцээний талбайн зургийг үзүүлэв.

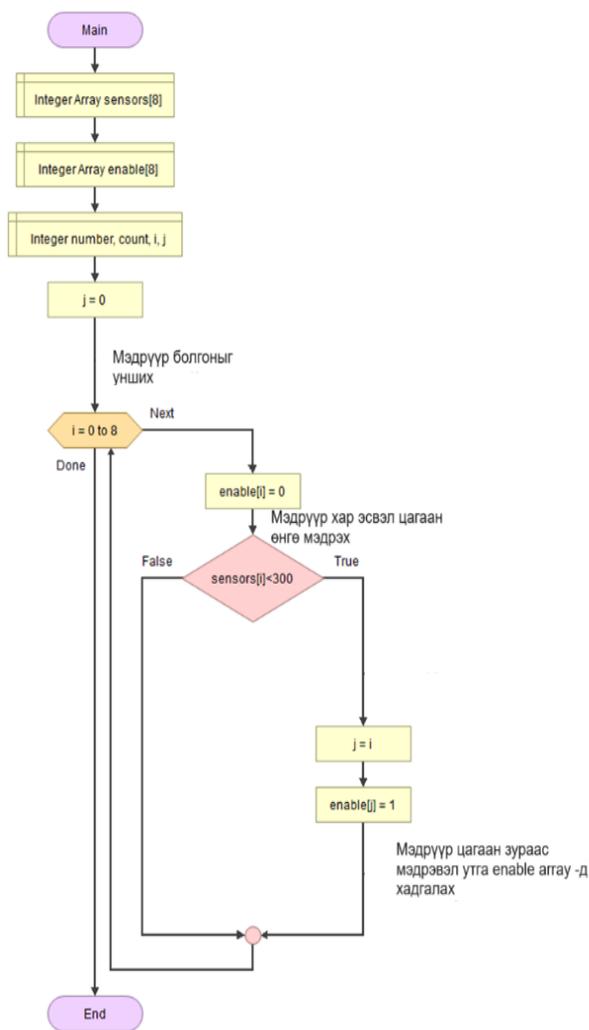
РОБОТЫН ХУРД БА УДИРДЛАГЫН ХАРЬЦУУЛАЛТ

2-Р ХҮСНЭГТ.

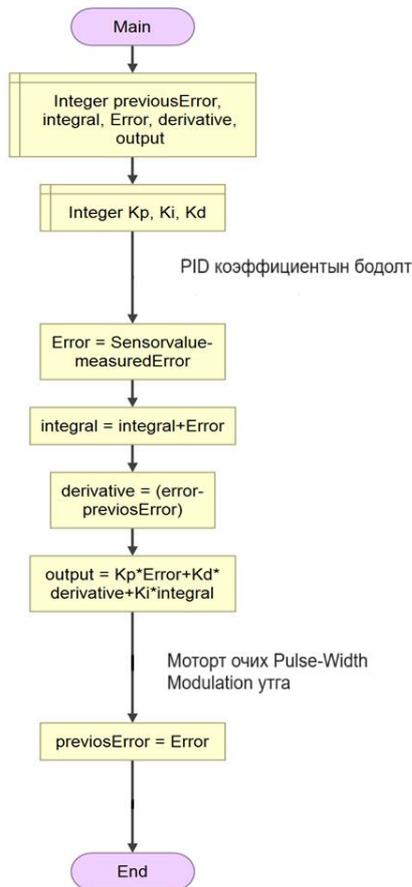
Удирдлагын алгоритм	P	PD	PID
Тохируулгын коэффициент	Kp	1	0.99
	Ki	0	0.1
	Kd	0	0.099
Тойрог зам туулах хугацаа (секунд) 10 удаагийн туршилтын дундаж утга	45	32	24
Тохируулсан хурдтай харьцангуй хувь	10	50	85

2-р хүснэгтээр P, PD, PID гурван төрлийн удирдлагын алгоритмын үр дүнг харьцуулав. Эндээс харахад PID гурван төрлийн тохируулгын коэффициентийг бүрэн тохируулсан үед робот хамгийн өндөр хурдтайгаар боломжит хамгийн их хурдны 85 хувиар өгөгдсөн муруй замыг туулж байсан.

ШДР-ын удирдлагын программ нь хоёр хэсгээс бүрдэнэ. 8-р зурагт ШДР-ын шугам мэдрэгчийн тохиргоог хийхэд ашигласан программын алгоритмыг үзүүлэв. Харин 9-р зурагт ШДР-ын PID удирдлагын программын алгоритмыг үзүүлэв.



8-р зураг. Мэдрүүрийг тохируулах ба мэдээллийг боловсруулах алгоритм



9-р зураг. ШДР-ын удирдлагын алгоритм

V. ДҮГНЭЛТ

Монгол улсын хувьд сүүлийн жилүүдэд шулуун болон тойрог замын зураас дагагч роботын тэмцээн жил ирэх тусам чанар чансаа, хурд хүч, программын алгоритмын хувьд хурдтай өсөн дэвжиж байна. PID удирдлагыг ашигласнаар багуудын ШДР үйлдэл гүйцэтгэх үед коэффициентын утга зөв таарсан эсэхээс хамаарч гаргах амжилт нь ялгаатай байсан. PID удирдлагын коэффициентуудыг механик аргаар тааруулж байсан нь энэ роботын сул тал юм. Учир нь роботын уралдааны талбайн гадаргуу болон дугуйны үрэлт тэмцээний явцад байнга өөрчлөгддөг тул PID коэффициентууд өөрчлөгдөх шаардлагатай байдаг. Иймд, ШДР-ын PID удирдлагын тохируулгын коэффициентуудыг програм өөрөө автоматаар тохируулдаг болгосноор алдаа багатай, уралдааны замыг хурдан туулах боломжтой юм.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] J. Singh and P. S. Chouhan, "A New Approach for Line Following Robot Using Radius of Path Curvature and Differential Drive Kinematics," 6th International Conference on Computer Applications In Electrical Engineering-Recent Advances (CERA), 2017.

[2] Р.Бямбажав ба А.Батмөнх, "Траектори дагах Роботын алгоритмыг сайжруулах арга замын судалгаа," ШУТИС - КТМС багш нарын эрдэм шинжилгээний хурлын эмхтгэл, 2012.

[3] Б. Дагвасүрэн ба А. Батмөнх, "Тогтворгүй системийн тэнцвэржилт дөрвөн сэнст нисдэг тэрэг," Өгөгдөл ба Мэдлэгийн Менежмент, 2015.

[4] V. Balaji, M. Balaji, M. Chandrasekaran, M. K. A. Ahamed Khan and I. Elamvazuthi, "Optimization of PID Control for High Speed Line Tracking Robots," Procedia Computer Science, vol. 76, pp. 147 – 154, 2015.

[5] Z. U. Abideen, M. B. Anwar and H. Tariq, "Dual Purpose Cartesian Infrared Sensor Array Based PID Controlled Line Follower Robot for Medical Applications," International Conference on Electrical Engineering (ICEE), 2018.

[6] L. Almeida, A. Mota and P. Fonseca, "Comparing Control Strategies for Autonomous Line-Tracking Robots," AMC'98 - Coimbra. 5th International Workshop on Advanced Motion Control. Proceedings, 1998.

[7] M. S. Saidon, H. Desa and R. Md Noor, "A Differential Steering Control with Proportional Controller for An Autonomous Mobile Robot," IEEE 7th International Colloquium on Signal Processing and its Applications, 2011.

[8] S. Patil, A. Wagh, M. Sawane, S. Panda and A. Bhopale, "Design and Implementation of Advanced Auto Calibrating Line Following Sensor for Coloured Surfaces with a White Line," IEEE International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems, 2016.

[9] B. G. Sampath, G. V. A. G. Asanka Perera and W. D. I. G. Dassanayake, "A Fuzzy Integrated Self-tuning PID Technique for Mini Robot," 7th International Conference on Information and Automation for Sustainability, 2014.

[10] A. Yufka and A. Aybar, "Line Estimation for a Line-Following Mobile Robot," 9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering, 2015.

ТҮГЭЭХ СҮЛЖЭЭНД УРВУУ ХУГАЦААНЫ ХАРАКТЕРИСТИКТАЙ ГҮЙДЭЛ ИХСЭЛТИЙН ХАМГААЛАЛТЫГ АШИГЛАХ БОЛОМЖИЙН СУДАЛГАА

Г.Нямдулам¹, М.Баттулга¹

¹ Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Цахилгаан техникийн салбар

*Холбогдох зохиогчийн и-мэйл хаяг: niamkaann22@gmail.com, battulga@must.edu.mn

Хураангуй— Цахилгаан эрчим хүчний системийн найдвартай ажиллагаа нь реле хамгаалалт, автоматикийн байгууламжийн ажиллагаанаас ихээхэн хамаардаг. Цахилгаан эрчим хүчний үндсэн тоноглолууд болох генератор, трансформатор, цахилгаан дамжуулах шугам, хөдөлгүүрийн гэмтэл болон хэвийн бус горимын үед ажиллах олон төрлийн реле хамгаалалт байдгаас хамгийн түгээмэл ашиглагддаг нь гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалт (ГИХ) юм. Гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалт нь тогтмол хугацааны характеристиктайн ГИХ, урвуу хугацааны хамааралтай ГИХ гэсэн 2 үндсэн хэсэгт хуваагддаг. Бидний судалгааны объект болох *Багануур Зүүн Өмнөд Бүсийн Цахилгаан Түгээх Сүлжээ* (БЗӨБЦТС)-ний Багануур салбарын шугам, тоноглолын реле хамгаалалтууд нь ихэнх нь тогтмол хугацааны характеристиктай ГИХ ашиглагдаж байна. Энэ нь гэмтлийн гүйдлийн хэмжээ, шугамын уртаас үл хамааран тогтмол хугацааны барилттай ажилладаг бөгөөд цуварсан үйлчлэлтэй шугам, тоноглолын хувьд үүсгэгч рүү ойртох тусам хамгаалалтын хугацааны тавил ихсэх сул талтай. Харин урвуу хугацааны характеристиктай ГИХ нь гэмтлийн гүйдлийн хэмжээнээс хамаарч хугацааны барилт нь өөрчлөгдөх боломжтой бөгөөд үүнийг шугам тоноглолын хамгаалалтад ашигласнаар дээрх дутагдалтыг арилгах боломжтой юм. Тиймээс судалгааны объект болох багануур салбарын түгээх сүлжээний жишээнд тулгуурлан анхдагч схем болон урвуу хугацааны характеристиктай ГИХ-ыг DigSILENT PowerFactory 15.1 программ дээр загварчилж, туршилтын үр дүнд анализ хийсэн болно.

Түлхүүр үг— Тогтмол хугацааны характеристик, реле хамгаалалт, гэмтэл, урвуу хамаарал.

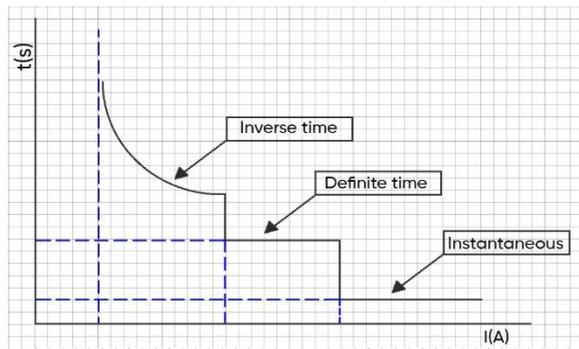
I. УДИРТГАЛ

Хорин нэгдүгээр зууны хүн төрөлхтнийг техник, технологигүйгээр, тэр дундаа цахилгаан эрчим хүчгүйгээр төсөөлөхийн аргагүй билээ. Цахилгаан эрчим хүчний систем (ЦЭХС) гэдэг нь цахилгаан станц, дэд станц, цахилгаан шугам сүлжээ, цахилгаан хэрэглэгчдийн нэгдэл юм[1]. ЦЭХС нь хэвийн тогтвортой горимд ажиллах ёстой хэдий ч ямар нэгэн байдлаар гэмтэл болон хэвийн бус горимд ордог. Гэмтэл гэдэг нь бүхэл төрлийн богино залгаа бөгөөд тухайн горимд орсон үед системд хүчдэл огцом буурч, давтамж унаж систем бүхэлдээ доголдох аюултай. Иймээс гэмтэл гарсан элемент (тоноглол)-ийг хурдан илрүүлж гэмтэлгүй хэсгээс тусгаарлах шаардлагатай. Үүний тулд ямар нэгэн параметрийг хянаж, хэмжих замаар гэмтэлтэй элементийг тодорхойлж өндөр хурдтай залгах, таслах (коммутацын) аппаратын тусламжтай таслах үндсэн үүрэгтэй төхөөрөмжийг реле хамгаалалтын төхөөрөмж гэнэ[2]. Реле хамгаалалт нь гэмтлийн төрөл болон хамгаалж буй тоног төхөөрөмжөөс шалтгаалан олон төрөл байдаг. Манай орны хувьд түгээх сүлжээнд ашиглагдаж буй шугам, тоноглолд ихэвчлэн тогтмол хугацааны характеристиктай гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалтыг (ГИХ) ашигладаг. Энэ нь гэмтлийн гүйдлийн ямар ч үед зөвхөн нэг л хугацаанд тасалдаг. Ингэснээр системийн их хэмжээний гүйдэлтэй гэмтлийн гүйдлийн үед хугацааны барилт их байгаагаас шалтгаалж тоног төхөөрөмж гэмтэх цаашлаад системийн тогтворжилт алдагдах аюултай. Урвуу хугацааны

характеристиктай ГИХ-ыг нэвтрүүлснээр гэмтлийн гүйдэл их үед маш хурдан хугацаанд таслах боломжтой болж хамгаалалт илүү уян шинж чанартай болох юм. Тиймээс энэ хамгаалалтын ажиллагааг симуляци ашиглан тодорхойлох нь энэ судалгааны ажлын зорилго болно.

II. ГҮЙДЭЛ ИХСЭЛТИЙН ХАМГААЛАЛТ

Гүйдлийн хамгаалалт нь хамгаалж байгаа объектоор дамжих гүйдлийн утгыг мэдэрч ажилладаг хамгаалалт[3]. Гүйдлийн хамгаалалтыг сонгох чадвараас нь хамааруулж харьцангуй сонгох чадвартай гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалт (Definite time, Inverse time), үнэмлэхүй сонгох чадвартай гүйдлийн огцом ихсэлтийн хамгаалалт ГОИХ (Instantaneous time) гэж ангилдаг. Харьцангуй сонгох чадвартай ГИХ нь хугацааны барилтын тусламжтайгаар сонгох чадварын шаардлагыг хангадаг. Үнэмлэхүй сонгох чадвартай ГОИХ нь ажиллах гүйдлийг тохируулан сонгож авах аргаар сонгох чадварыг хангадаг. ГИХ нь нэг талын тэжээл үүсгэгчтэй сүлжээнд үндсэн, нийлмэл сүлжээнд нөөц хамгаалалтаар ажилладаг. Гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалтыг генератор, трансформатор, шугамын болон түгээх сүлжээнд үндсэн болон бэлтгэл хамгаалалтаар ашигладаг.



1-р зураг. Гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалтын хугацааны характеристик.

A. Хугацаа барилтгүй гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалт

Энэ төрлийн хамгаалалтыг хугацааны барилтгүй эсвэл цэнэг шавхагчийн ажиллах хугацаанаас бага зэрэг удаан ажиллахаар тооцож $t1=0$ сонгож авна[4]. Энэ хамгаалалтын хамгаалах чадвар хамгаалах бүсийн уртаар үнэлэгдэнэ.

$$I_{ха} = K_{тох} \times I_{БЗ.мах} \quad (1)$$

Үүнд: $I_{ха}$ - хамгаалалтын ажиллах гүйдэл, $K_{тох}$ -БЗ-ны гүйдэлд байж болох үечилсэн бус (чөлөөт) байгуулагч, БЗ үеийн тооцооны алдаа, гүйдлийн хэмжүүрийн трансформатор (ТА) ба хэмжих эрхтний алдаа зэргийг тооцсон тохируулгын коэффициент. Үүнийг олон улсын хэмжээнд мөрдөгдөж байгаа цахилгаан тоноглолын ашиглалтын дүрэмд зааснаар $K_{тох} = 1,2 - 1,3$ хооронд авч болно. $I_{БЗ.мах}$ - БЗ-ны хамгийн их гүйдэл

B. Тогтмол хугацааны характеристиктай гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалт

Тогтмол хугацааны барилттай гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалт нэг талын тэжээл үүсгэгчтэй сүлжээнд өргөн хэрэглэдэг. Хамгаалалтын ажиллах гүйдэл ачааллын хамгийн их гүйдлээр тохируулагдана.

$$I_{ха} = \frac{K_n \times K_{х.ө.а} \times I_{ач.мах}}{K_б} \quad (2)$$

Үүнд: K_n -найдваржилтийн коэффициент; $K_n = (1,15 \div 1,3)$ хагас дамжуулагч реле; $K_n = (1,2 \div 1,3)$ цахилгаан соронзон реле; $K_n = 1.5$ индукцийн реле; $K_{х.ө.а}$ -хөдөлгүүрийн өөрөө асаалтын коэффициент; $K_б$ -буцалтын коэффициент. Энэ хамгаалалт найдвартай ажиллах эсэхийг мэдрэх чадварын коэффициентээр үнэлдэг.

$$K_{мч} = \frac{I_{БЗ.мин}}{I_{ха}} \quad (3)$$

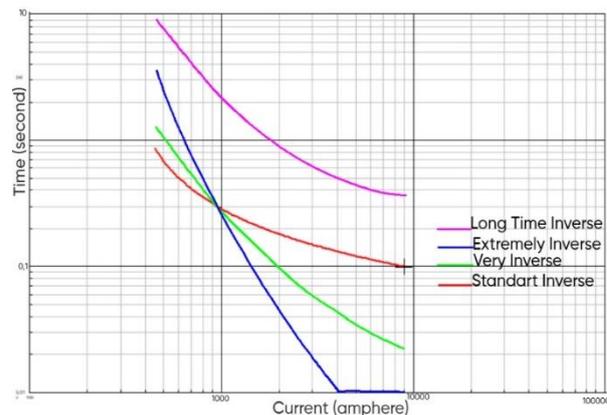
Мэдрэх чадвар нь $1,5 \leq$ үндсэн хамгаалалт; $1,2 \leq$ бэлтгэл хамгаалалт байна. Хамгаалалтын ажиллах хугацааг урьдах хамгаалалтын хугацааны барилтаас Δt хугацаагаар их байхаар тооцно.

$$t_{ха} = t_{урьд} \times \Delta t \quad (4)$$

Үүнд: $t_{урьд}$ -өмнөх хамгаалалтын хугацааны барилт, $\Delta t = 0,5$

C. Урвуу хугацааны характеристиктай гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалт

Энэ төрлийн релений ажиллах хугацаа нь гүйдэлтэй урвуу хамааралтай байдаг. Гэмтлийн гүйдэл их байх тусам хамгаалалтын ажиллах хугацаа бага байна. Урвуу хугацааны характеристиктай гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалт нь Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) стандарт болон International Electronical Commision (IEC) стандарт гэсэн төрөлтэй.



2-р зураг. Гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалтын урвуу хугацааны характеристик.

УРВУУ ХУГАЦААНЫ ХАРАКТЕСТИКИЙН НЭРШИЛ

1-Р ХҮСНЭГТ.

№	Характеристик муруй		
	IEEE standart's	IEC standart's	Тайлбар
1	Moderately Inverse	Standart Inverse	Стандарт урвуу
2	Inverse	Very Inverse	Маш урвуу
3	Very Inverse	Extremely Inverse	Маш их урвуу
4	Extremely Inverse	Long-time inverse	Урт хугацааны урвуу
5	Short-time inverse	Short-time inverse	Богино хугацааны урвуу

Энэ судалгааны ажилд IEC standart ашигласан болно.

STANDART INVERSE TIME

Хэрэглэгчтэй ойр гэмтэл гарахад ашиглахад тохиромжтой.

VERY INVERSE TIME

Гэмтэл үүсгэгчээс хол буюу гэмтлийн гүйдлийн хэмжээ хурдан буурч байгаа тохиолдолд ашигладаг. Энэ нь гэмтлийн байршил үүсгэгчээс хэр хол зайтай байгааг мэдэхэд ашиглана.

EXTREMELY INVERSE TIME

Энэ нь маш бага хугацаанд ажилладаг. Үүсгэгчтэй ойр богино залгаа болоход ашиглахад тохиромжтой. Генератор, шин болон трансформаторын хамгаалалтанд өргөн ашигладаг.

LONG TIME INVERSE

Газардлага гарсан үед хэрэглэхэд тохиромжтой. Хамгаалалтын ажиллах хугацаа нь харьцангуй их учир энэ характеристиктай хамгаалалтыг бага

ашигладаг. IEC 60255 стандартын урвуу хугацааны характеристиктай ГИХ-ын ажиллах хугацаа нь:

$$t(I) = TMS \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \quad (5)$$

Үүнд: $t(I)$ -хамгаалалтын ажиллах хугацаа, TMS -реле хамгаалалтын хугацаа үржүүлэгчийн коэффициент; k -характеристикийн коэффициент; I -богино залгааны гүйдэл; I_s -хамгаалалтын тавилын гүйдэл; α -урвуу хугацааны характеристикийн коэффициент

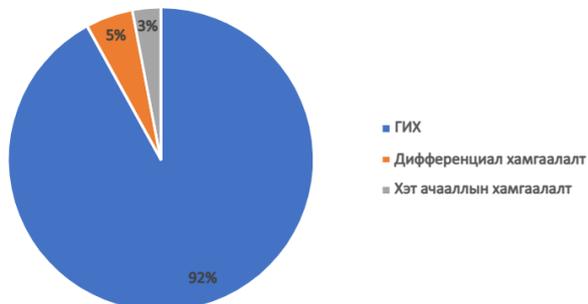
УРВУУ ХУГАЦААНЫ ХАРАКТЕРИСТИКИЙН КОЭФФИЦИЕНТ

2-р ХҮСНЭГТ.

Урвуу хугацааны характеристикийн төрлүүд	k	α
IEC standart inverse	0.140	0.020
IEC very inverse	13.5	1
IEC extremely inverse	80	2
IEC long time inverse	120	1

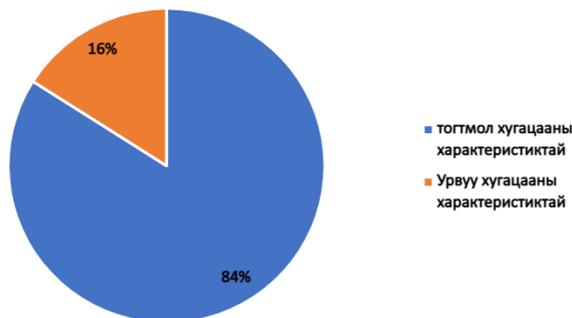
III. СУДАЛГААНЫ ХЭСЭГ

Судалгааны ажилд Баруун, Зүүн, Өмнөд Бүсийн Цахилгаан Түгээх Сүлжээ (БЗӨБЦТС) Төрийн Өмчит Хувьцаат Компани (ТӨХК)-ний Багануур салбарын шугам тоноглолд ашиглагдаж буй реле хамгаалалтыг судаллаа[5]. Багануур салбар нь 12 дэд станц 95 орчим тоноглолоос бүрдэнэ. Доорх графикт Багануур салбарын одоо ашиглагдаж байгаа реле хамгаалалтын судалгааг харууллаа.



3-р зураг. Реле хамгаалалтын төрөл

Багануур салбарын шугам, тоноглолд ашиглагдаж буй реле хамгаалалтуудын 3 хувь нь хэт ачааллын хамгаалалт, 5 хувь нь дифференциал хамгаалалт, 92 хувь нь гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалт байна. Тухайн гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалтын характеристикийн төрлөөр нь дараах зурагт ангилж үзүүлэв.



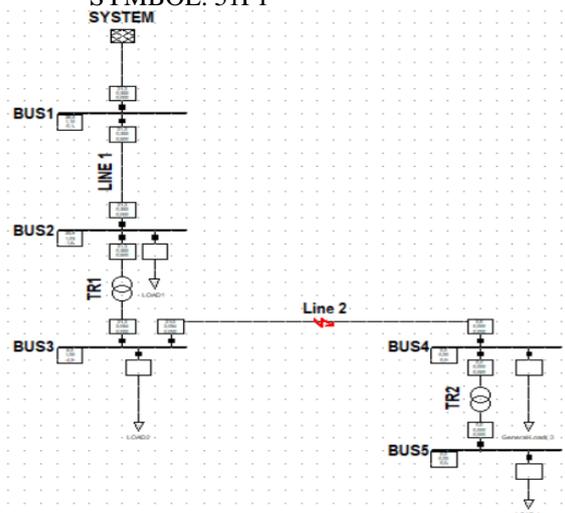
4-р зураг. ГИХ-ын хугацааны характеристикийн төрөл

Дээрх графикаас харахад ГИХ-ын хамгаалалтанд ашиглагдаж буй релений ихэнх хувийг тогтмол хугацааны харacterистай хамгаалалт эзэлж байна. Ажиллах хугацааны хувьд 0,5сек болон 1сек хугацааны барилттай байсан. Энэ хугацаа бол реле хамгаалалтын хувьд урт хугацаа юм. Гэмтлийн гүйдэл их үед удаан хугацааны барилт нь үндсэн тоноглолуудад халалт үүсэн гэмтэхээс эхлэн маш аюултай юм.

IV. ТУРШИЛТЫН ХЭСЭГ

Түгээх сүлжээний анхдагч схемийг DigSILENT PowerFactory 15.1 программ дээр загварчлав. Туршилтанд хэрэглэсэн схемийн өгөгдлүүд.

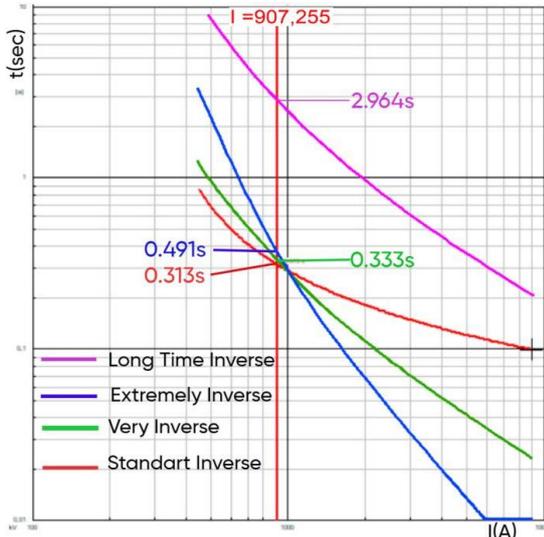
- ✓ Систем
- ✓ Цахилгаан дамжуулах агаарын шугам (ЦДАШ)1: 40км, ЦДАШ:2 10км
- ✓ Хүчний трансформатор 1: 10MBA, 50 гЦ, 6/35KV
- ✓ Хүчний трансформатор 2: 3MBA, 50 гЦ, 04/6KV
- ✓ Ачаалал 1: 1MBA, Ачаалал 2: 0,8MBA, Ачаалал 3: 0,2MBA, Ачаалал 4: 0,1MBA
- ✓ Гүйдлийн трансформатор: 1/100A
- ✓ Релений модел: SEL 751-1A, ANSI SYMBOL: 51P1



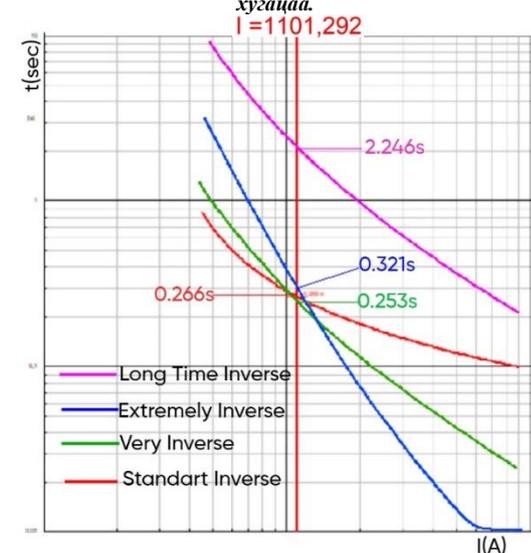
5-р зураг. Туршилтын схемийн загвар

Туршилтыг ЦДАШ 2 дээр хийнэ. Хамгийн бага гүйдэл болох 2 фазын БЗ-ны гүйдлээр хийнэ. Эхлээд

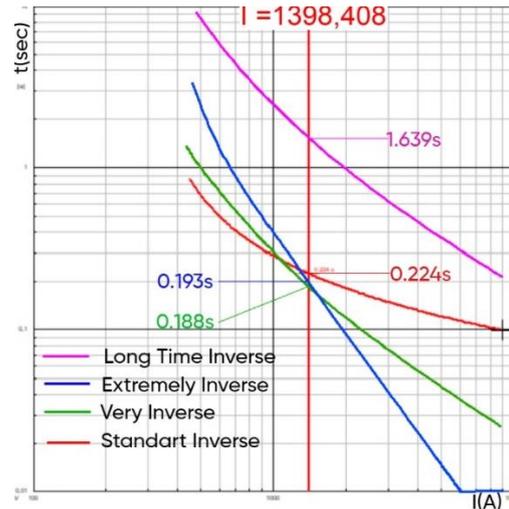
шугамын 50%-д урвуу хугацааны характеристикийн төрөл бүрд туршин хамгаалалт ажиллаж хугацааг тодорхойлно. Дараа нь аль нэг хугацааны характеристикийг сонгон авч шугамын 25%, 50%, 75% болон шугамын төгсгөлд (100%) БЗ үүсгэнэ.



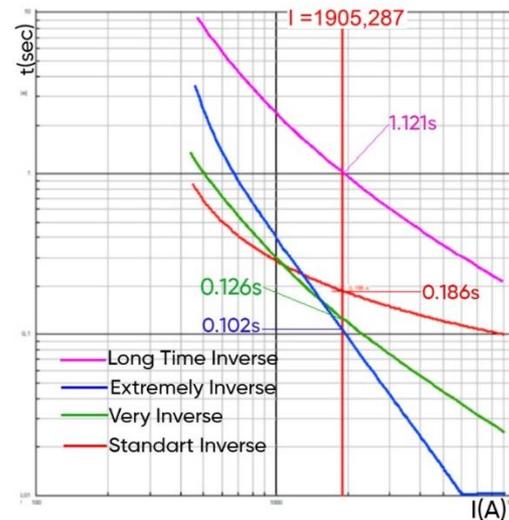
6-р зураг. Шугамын төгсгөлд (100%) болж буй БЗ-ны урвуу хугацааны характеристикүүд болон ГИХ-ын ажилласан хугацаа.



7-р зураг. Шугамын 75% буюу 7,5км-т болж буй БЗ-ны урвуу хугацааны характеристикүүд болон ГИХ-ын ажилласан хугацаа.



8-р зураг. Шугамын 50% буюу 5,0км-т болж буй БЗ-ны урвуу хугацааны характеристикүүд болон ГИХ-ын ажилласан хугацаа.

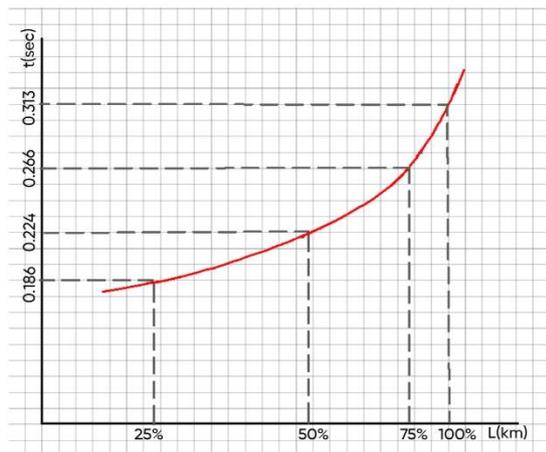


9-р зураг. Шугамын 25% буюу 2,5км-т болж буй БЗ-ны урвуу хугацааны характеристикүүд болон ГИХ ажилласан хугацаа

ШУГАМЫН ЯНЗ БҮРИЙН УРТУУДАД БОЛСОН 2 ФАЗЫН БОГИНО ЗАЛГААНЫ УРВУУ ХУГАЦААНЫ ХАРАКТЕРИСТИКТАЙ ГИХ АЖИЛЛАСАН ХУГАЦАА

2-р ХҮСНЭГТ.

Шугамын урт	25%	50%	75%	100%	50%
IEC standart inverse	0.186s	0.224s	0.266s	0.313s	0.186s
IEC very inverse	0.126s	0.188s	0.253s	0.333s	0.126s
IEC extremely inverse	0.102s	0.193s	0.321s	0.491s	0.102s
IEC long time inverse	1.121s	1.639s	2.246s	2.964s	1.121s



10-р зураг. Standart Inverse time характеристиктай ГИХ-ын янз бүрийн шугамын уртаас хамаарсан хамгаалалт ажилласан хугацаа

Дүгнэлт

Урвуу хугацааны характеристикийн төрөл болох Standart Inverse, Very Inverse, Extremely Inverse болон Long Time Inverse-ийн хугацааны характеристикүүдыг загварчилж, туршилтыг гүйцэтгэхдээ ЦДАШ уртын дагуу дөрвөн цэгт богино залгаа үүсгэсэн. Эдгээр туршилтын үр дүнд тулгуурлан шугам сүлжээний шинж чанараас хамааран ямар характеристик тохиромжтой болохыг нь тодорхойлоход шугамын төгсгөлд ачаалалтай ойр БЗ болоход (6-р зурагт) Standard Inverse time характеристиктай ГИХ хамгаалалт хамгийн богино хугацаа буюу 0.313 секундэд ажиллаж байна. Энэ нь хэрэглэгчтэй ойр БЗ болоход Standard Inverse time характеристиктай ГИХ хамгаалалтыг ашиглахад илүү тохиромжтой гэдгийг харуулж байна. Шугамын 25% (9-р зурагт) буюу үүсгэгчтэй ойр БЗ болоход

Extremely Inverse time характеристиктай ГИХ хамгаалалт хамгийн богино хугацаа буюу 0.102 секундэд ажиллаж байна. Энэ нь үүсгэгчтэй ойр БЗ болоход Extremely Inverse time характеристиктай ГИХ хамгаалалтыг ашиглахад илүү тохиромжтой гэдгийг харуулж байна. Шугамын дунд хэсэгт 50% (7-р зураг) болон 75% (8-р зурагт) БЗ болоход Very Inverse time характеристиктай ГИХ хамгаалалт хамгийн богино хугацаанд ажиллаж байна. Very Inverse time характеристик нь хаана БЗ болсныг мэдэхэд илүү тохиромжтой гэдгийг харуулж байна. 3-р хүснэгт болон 10-р зурагт хамгаалалтын ажиллах хугацаа нь гэмтлийн гүйдлээс урвуу хамааралтай гэдгийг харуулж байна. Тиймээс түгээх сүлжээнд standart invers бүхий урвуу хугацааны характеристиктай ГИХ ашигласнаар хамгаалалтын ажиллах хугацааг багасгах буюу хугацааны хувьд илүү уян шинж чанартай болгож байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

- [1] Б.Мандах, Ж.Арслан “Цахилгаан системийн реле хамгаалалт автоматик” УБ, 2023 он
- [2] Ш.Гантөмөр “Цахилгаан станц, дэд станц” УБ, 2011 он
- [3] Д.Содномдорж “Цахилгаан станц дэд станц, дэд станцын цахилгаан тоног төхөөрөмж” УБ, 2017 он. [4] ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ СУРГУУЛЬ (pes.edu.mn)
- [4] БЗӨБЦТС ТӨХК Реле судалгаа [896]
- [5] The Basics Of Overcurrent Protection | EEP (electrical-engineering-portal.com).
- [6] Difference between instantaneous, definite time and inverse time over current protection relays - Electrical Engineering Stack Exchange.
- [7] SEL-751 Feeder Protection Relay - Documentation | Schweitzer Engineering Laboratories (selinc.com)
- [8] Inverse Time Overcurrent Relays and Curves Explained - Tech Library / Articles - TestGuy Electrical Testing Network

ХӨДӨЛГӨӨНТ ОБЪЕКТЫГ ТАНИХ БА ТҮҮНИЙГ ДАГАХ МИНИ РОБОТ

Ч.Амартүвшин, Л.Дэмбэрэлдодов, Б.Ганбат, А.Мөнх-Оргил

Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Цахилгаан техникийн салбар

*Холбогдох зохиогчийн и-мэйл хаяг: amraac4@gmail.com, dodov200100@gmail.com, rganbaa122@gmail.com, amunkhorgil01@gmail.com

Хураангуй— Автомат удирдлагатай робот бие даан явах, шийдвэр гаргахад зайлшгүй шаардлагатай зүйл бол орчны мэдээллийг хангалттай сайн цуглуулах явдал юм. Робот нь өнгө, хэлбэр, хэмжээ, хэр зайтай байгаа гэх орчны мэдээлэл дээр тулгуурлана өөрийг байршлыг тогтоох болон объектын байршил, төлөвийг тодорхойлох бүрэн боломжтой билээ. Бидний хувьд RGB камер ашиглан объектын өнгө нь дээр нь тулгуурлана таньж зай болон объектын камер нь дээрх дүрсний аль координат дээр байгаагаас нь хамаарч хоёр хөтлөгч дугуйтай жижиг туршилтын роботын явалтын удирдлагын сигналын боловсруулах тал дээр туршилтыг JetsonNANO ашиглан амжилттай хийж гүйцэтгэлээ.

Түлхүүр үг— ROS – Robot Operating System, Автомат робот, OpenCV – Open Source Computer Vision, JetsonNano, RGB- Red, Green, Blue, HSV- Hue Saturation Value

I. УДИРТГАЛ

Сүүлийн жилүүдэд маш их судалгаа хөгжүүлэлт хийгдэж тасралтгүй яригдаж байгаа сэдвүүдийн нэг бол яах аргагүй хиймэл оюун ухаанд суурилсан (Self-driving car) – автомат удирдлагатай машин. Бидний хийсэн жижиг загвар робот ч мөн адил автомат удирдлагатай машины үндсэн суурь юм. Автомат удирдлагатай роботыг хөгжүүлж хэрэглээнд нэвтрүүлбэл хөдөлмөрийг хөнгөвчлөх, илүү эдийн засгийн үр ашигтай, мөн илүү найдвартай аюулгүй орчин нөхцөлийг бий болгох бүрэн давуу талтайгаараа онцлог юм.

Энэ жилийн ROBOCON 2024 тэмцээн нь бусад жилүүдээс онцлогтой нь өнгийн бөмбөгийг таних буюу дүрс боловсруулах даалгавартай болсноороо онцлогтой байгаа ба энэ нь уг судалгааны ажлыг судлах шалтгаан болсон билээ.

Биет таних процессын хувьд Mobilenet-SSD, Yolo(you look only once) гэх мэт маш олон дүрс боловсруулах алгоритмууд бий. Гэвч бидний хувьд робот нь ажиллах орчны мэдээлэл нь өгөгдсөн ба тодорхой нэг өнгийн бөмбөг таних даалгавартай билээ. Тийм учраас бид дээрх алгоритмыг ашиглалгүй тухайн өнгүүдийг илэрхийлэх параметрууд дээр тулгуурлаж бөмбөг таних алгоритмыг өөрсдөө бичсэнээрээ давуу талтай. Ингэснээрээ робот маань бодит цагийн ажиллагааны хувьд илүү хурдтай ажиллах болж байгаа юм.

II. ОНОЛ

RGB камер – өнгийн камер:

RGB өнгийн камер ашиглаж буй шалтгаан нь олон төрлийн өнгийн бөмбөгнөөс өөрийн зөв өнгөө ялгаж танихын тулд ашиглах шаардлага тулгарсан. “RGB” нь улаан, ногоон, цэнхэр гэсэн гурван үгийн товчлол бөгөөд өнгө тус бүр 0 – 255 хүртэлх эрчмийн утга аван гурван өнгийг хослуулснаар бүх төрлийн өнгийг гарган авч болдог. RGB камерын дамжуулах

дүрс дээр дүрс боловсруулалт хийн бөмбөгөө таньж авах болно.

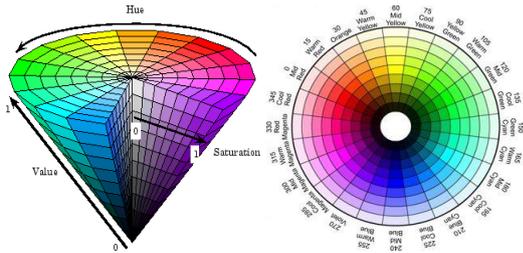
Дүрс боловсруулалт:

“OpenCV” – “Open Source Computer Vision Library” нь нээлттэй эхийн машин сургалт болон компьютерын харааны программын сан юм. Тус сан нь янз бүрийн алгоритмуудыг багтаасан зураг, видео боловсруулах, объект илрүүлэх, дүрс таних, хөдөлгөөнийг хянах зэрэг олон талт үйлдэлтэй.

“Cuda” - CUDA (Compute Unified Device Architecture) нь NVIDIA GPU (Graphics Processing Units) дээр ерөнхий тооцоолол хийхэд зориулж NVIDIA-аас боловсруулсан зэрэгцээ тооцоолох платформ болох програмчлалын загвар юм. Энэ нь NVIDIA GPU-г ашиглаж буй хөгжүүлэгчдэд график процессорыг дүрс боловсруулалтын ажилд ашиглах боломжийг олгодог.

HSV – Өнгөний ханалтын утга:

Аливаа биет дээр гэрэл гялбах болон сүүдэр тусахад өнгөний утга нь бас өөрөөр өөрчлөгддөг тул гэрэлтүүлэг ихтэй ба харанхуй орчинд бөмбөгийг алдаагүй танихын тулд уг аргыг бас давхар ашиглах шаардлагатай болсон. Уг арга нь гадаад гэрэлтүүлэг болон орчны гэрлийн бага өөрчлөлтөд илүү найдвартай өнгөний утга нь RGB өнгөний утгаас илүү бага хэлбэлздэг тул алдааг багасгаж өгдөг. Жишээ нь ногоон өнгийн бөмбөг дээр гэрэл тусаж бага зэрэг гэрэл гялбавал “HSV” дэх өнгөний утга нь илүү ойролцоо дөхөх боловч “RGB”-ийн өнгөний утга анхны утгаас ихээхэн зөрүүтэй байх тохиолдол байдаг. Тиймээс гаднаас нөлөөнд бага автдаг “HSV” аргыг ашиглах нь илүү тохиромжтой.



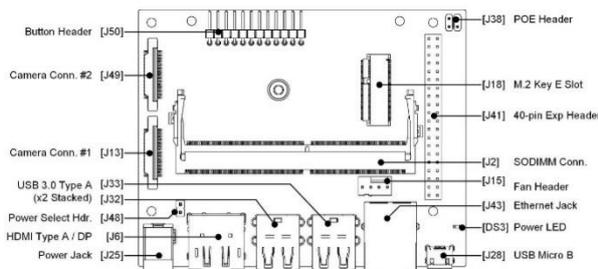
1-р зураг. HSV өнгөний хамаарамжийн муж

UART дамжуулалт нь мэдээллийг хоёр контроллер хооронд цуваагаар нэг нэг битээр хамгийн багаас нь их битт рүү мөн эхлэл болон төгсгөлийг нь цагийн тохируулгатай зааж өгөн дамжуулдаг. Уг дамжуулалт нь маш энгийн бөгөөд хоёр утас ашиглан нэг нь нөгөө рүүгээ мэдээлэл дамжуулах ба буцаагаад хүлээн авдаг.

Энэхүү судалгааны ажлын туршилтыг гүйцэтгэх техник хангамжийн хувьд “Jetson Nano Developer kit” болон “Arduino Nano” ашигласан. “Jetson Nano”-ийн хувьд NVIDIA компаниас үйлдвэрлэн гаргасан хүчирхэг график дүрсний боловсруулалт хийх боломжтой, машин сургалт, компьютерын хараа, өөрөө явагч машин зэрэгт ашиглагддаг, зэрэгцээ тооцоолол хийдэг өндөр хүчин чадалтай, бусад орны үүнтэй адил олон төсөөтэй төсөл судалгаануудад түгээмэл ашиглагддаг мини компьютер юм.

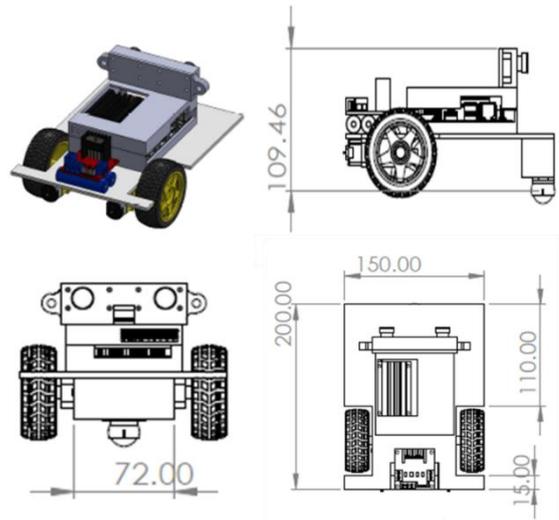
“Jetson Nano” – ийн үндсэн үзүүлэлт, түүний бүтэц:

- GPU - 128-core Maxwell
- CPU – 4 цөмт ARM A57, 1.43Гц
- Санх ой: 4GB 64-bit LPDDR4 25.6GB/s
- Холболтууд: Gigabit Ethernet, 4xUSB 3.0 порт
- Үндсэн зориулалтын оролт гаралтын хөл(GPIO): Jetson Nano standard 40 pin GPIO толгойтой, I2C, I2S, SPI, UART pin холболттой
- Камер: 2xMIPI CSI-2 DPHY шугам
- Видео: HDMI болон Display port
- SD card: Үйлдлийн систем аяааллах, өгөгдөл хадгалах бичил микро SD карт
- USB micro холбогчоор 5B, DC хүчдлээр тэжээгдэх боломжтой
- Ашиглалтын температур: орчны -30 ~ +60 градус

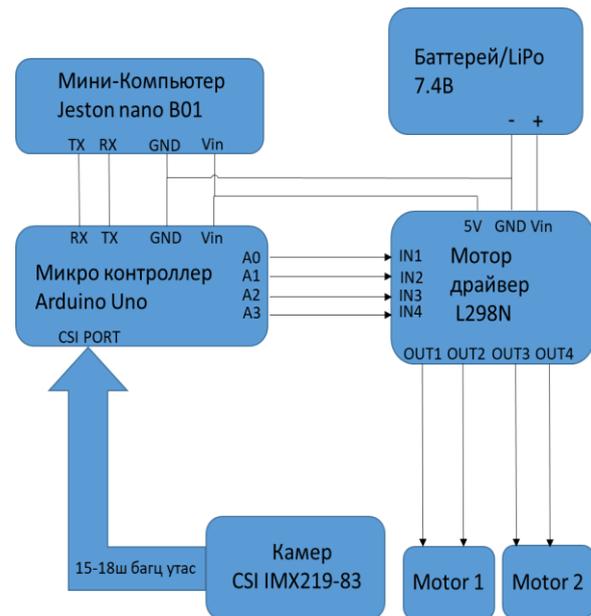


2-р зураг. Jetson Nano Developer Kit B01

Автомат роботын удирдлага



3-р зураг. Жижиг туршилтын роботын 3 хэмжээст зураг



4-р зураг. Холболтын блок схем

Дүрс боловсруулах аргачлал

Gaussian blur

Дүрс боловсруулах үйл явцад объект орчны гэрэлтүүлэг гэх мэт гадны нөлөөллөөс хамаарч шуугиантай дүрс орж ирэх нь олонтой. Уг шуугианыг дарж дүрсийг илүү жигд болгоход гауссын бүдгэрүүлэлт ашигласан. Гауссын бүдгэрүүлэлт нь эх зурган дээр тодорхой хэмжээний кернел матрицтай математик үйлдэл хийдэг ба ингэхдээ зэргэлдээх хөрш пикселүүдээс шууд

хамаарна. Доор гауссын бүдэгрүүлэлтын математик тооцоо томъёоллыг харуулав.

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \cdot e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

(11,11) х,у кернел матрицын утга

0 – σ сигма нь стандарт хазайлтыг илэрхийлнэ

Томъёо 2. Гауссын бүдэгрүүлэлтын томъёо

Thresholding

Уг арга нь дүрсийг өнгийн мужаас нь хамааруулж дүрсийг 0(хар)-аас 255(цагаан) хүртэлх утгатай (а) зураг болгодог. Үүнээс гадна босго утга өгнө уг босго утгатайгаа харьцуулан 0(хар) болон 1(цагаан) гэсэн хоёртын (б) матриц болгодог. Уг аргыг ашиглан туршилтанд ашигласан өнгийг ялгаж хоёртын тооллын системд хувиргана. Программын үр дүнг доор харуулав.

(а)	(б)
[65 209 254]	[0 0 0 ... 0 0 0]
[65 209 254]	[0 0 0 ... 1 1 0]
[65 209 254]	[1 0 0 ... 0 0 0]

Өнгийн матрицаас тооцоолол хийсэн үр дүн

DrawContour - объектоо ялгаж зурах

Contour нь зураг дээрх объект эсвэл ямар нэг зүйлийн хил хязгаарыг тодорхойлох явц болно. Contour ялгаж зурахын тулд дээр харуулсан 0,1-с бүрдсэн матрицын 1 утгуудыг дараалалсан цэгүүд болгон холбох хэрэгтэй болно.

Contour – C гэж тэмдэглээд

$$P = \{P_0, P_1, P_2, \dots, P_{n-1}\} \quad (2)$$

contour хийх зурагны цэг бүрийн тоон дараалал

$$S_i = \overline{P_i P_{i+1}} \quad (3)$$

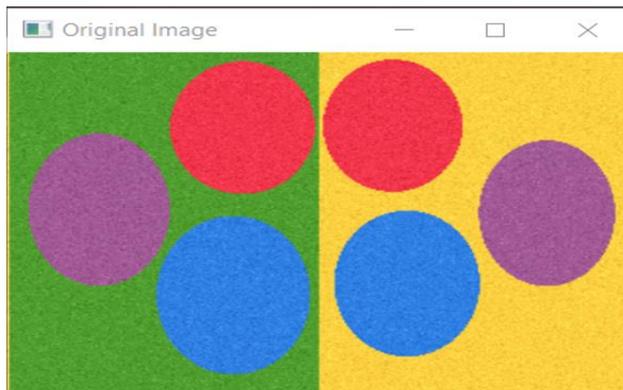
өмнөх цэгийг дараагийн цэг болгонтой хооронд нь холбох

$$S_{n-} = \overline{P_{n-1} P_0} \quad (4)$$

Хамгийн сүүлийн цэгийг хамгийг эхний цэгтэй холбох

$$C = \bigcup_{i=0}^{n-1} S_i \quad (5)$$

contour хийх цэгийн нэгдэл



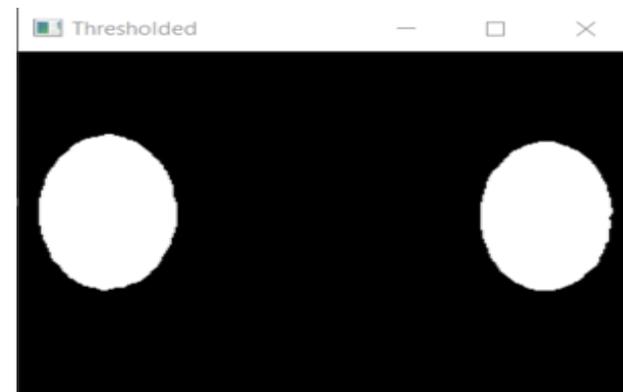
6-р зураг. Шуугиантай зурган файл



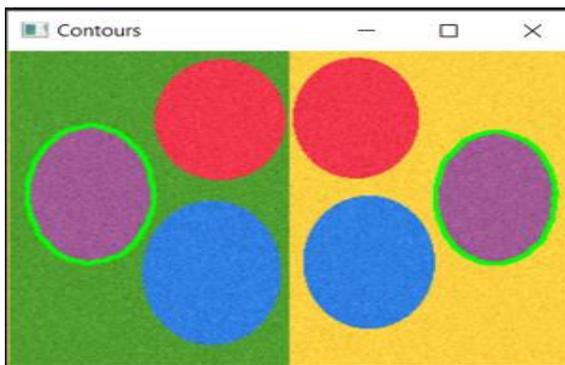
7-р зураг. RGB зургийг HSV болгов



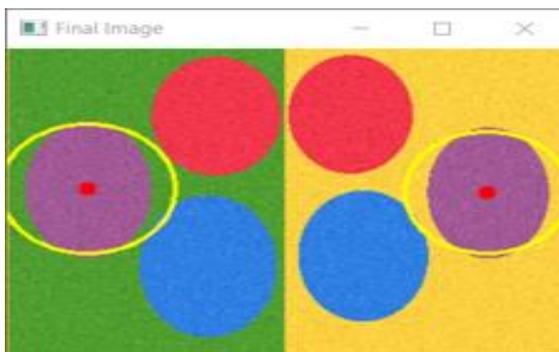
8-р зураг. Шуугиан дарахгүй онгө таньсан байдал



9-р зураг. Шуугианыг дарсны дараа трешолд хийсэн байдал



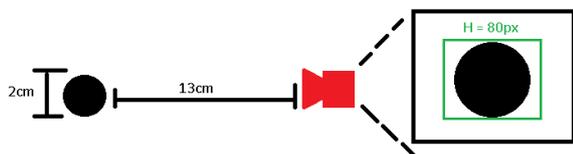
10-р зураг. Объектыг таньсан байдал



11-р зураг. Объектоос төв цэгийг олсон байдал

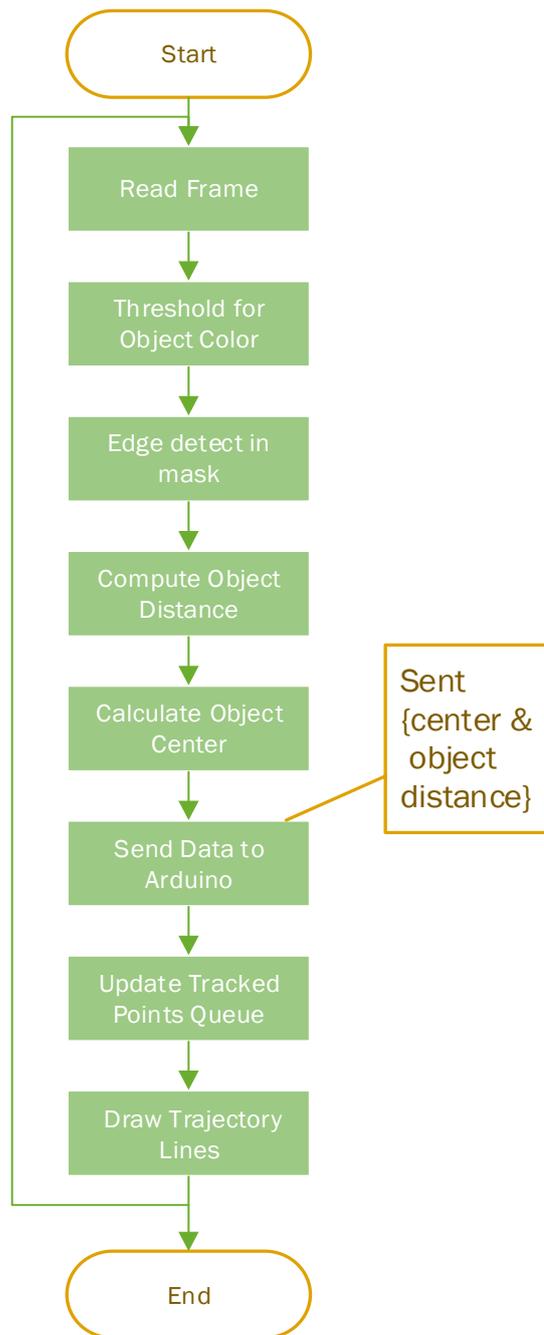
Илрүүлсэн бөмбөгний зайг олох

Тодорхой зайнд бөмбөгийг дагахын тулд камер болон бөмбөг хоорондын зайг тооцох шаардлагатай болсон. Үүний тулд бодит бөмбөгний хэмжээ, камер бөмбөг хоёрын зайнаас хамаарч камерын дүрс дээрх бөмбөгний хэмжээ зэрэг дээр үндэслэж тооцоо хийн хоорондох зайг тодорхойлж болохыг (зураг 12)-аас харж болно. Ингэхийн тулд камерын фокусын зай мөн хэрэг болно. Манай тохиолдолд камерын фокус 2.6мм, бөмбөгний хэмжээ 190мм, дүрс дэх бөмбөгний хэмжээг дүрс боловсруулж гарган аваад хоорондох зайг олж байгаа.



12-р зураг. Объектийг хоорондох зайг таньсан байдал

$$\text{Хоорондын зай} = \frac{\text{бодит хэмжээ} \times \text{фокус зай}}{\text{хуурмаг дүрс хэмжээ}} \quad (6)$$



13-р зураг. Объектын төв цэг болон зай олох блок схем

III. ТУРШИЛТЫН ҮР ДҮН

Дараах туршилтаар камернаас авсан дүрсэнд тодорхой мужид харьяагдах өнгийн утгыг шүүн гаргаж бөмбөгөө таньж байгааг харуулсан болно. Хэмжээгээ олохдоо камерын фокусын зай, жинхэнэ бөмбөгний радиус, дүрс болон орж ирж байгаа бөмбөгний радиус гэсэн хэмжигдэхүүний утгыг ашиглан зайгаа тодорхойлж болно. Үүний дараагаас илрүүлсэн бөмбөгнөөсөө төв цэгийг олно х,у-ийн координатыг хадгалж авч байгаагаараа давуу тал болно. Хамгийг ихдээ 64 ширхэг х,у –ийн координатыг хадгалахаар тохируулсан учраас шинэ утга орж ирэх болгонд өмгөх утгуудаа хадгалж явж байгаа.



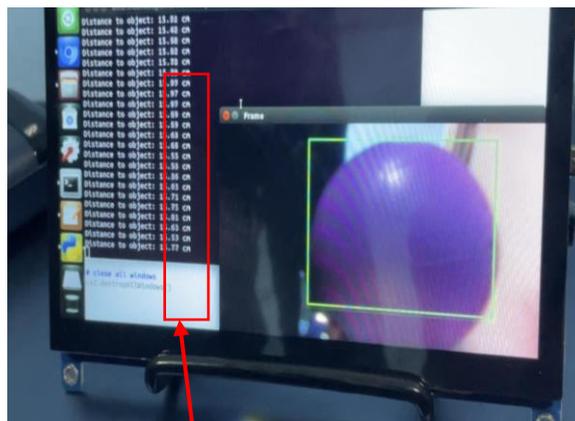
14-р зураг. Бөмбөгний төв цэг олсон байдал



15-р зураг. Бөмбөгний төв цэгийг дагаж утга цуглуулан шинэ утгыг хуучнаар нь сольж дагаж байгаа байдал

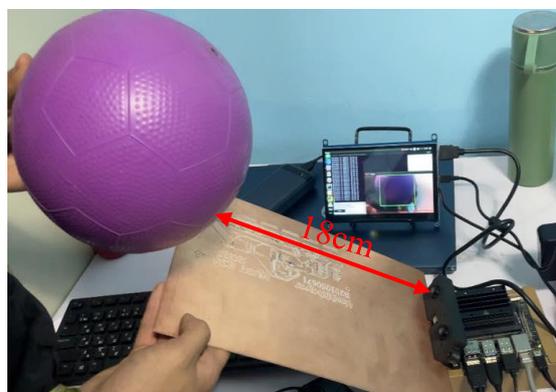


16-р зураг. Гарахад төв цэгийн утгыг хадгалж буй байдал



Average: 15.87cm

17-р зураг. Бөмбөгний зайг олж буй байдал



18-р зураг. Бодит бөмбөг камер хоорондын зай



19-р зураг. Бодит хэмжээ

IV. ДҮГНЭЛТ

Уг судалгааны ажлаар “Jetson Nano”, RGB камер, ашиглан дүрс боловсруулалт хийж өнгийн бөмбөг танин, зай болон бөмбөгний төв цэгийг тодорхойлж, тэр бөмбөгөө дагадаг хоёр хөтлөгчтэй туршилтын роботыг хийлээ. Хэдий утгаа авч чадсан ч үүн дээрээ тулгуурлана роботын алдаагүй явалтыг хараахан хийгээгүй болно. Уг явалт алдаатай байгаа шалтгааныг объектыг байршлыг хангалттай нарийвчлал өндөртэй тогтоож чадахгүй бас feedback буюу моторын удирдлагыг үүргийг гүйцэтгэж байгаа микроконтроллерт өгч байгаа сигналтай холбоотой гэж тодорхойлж байгаа. Үүнээс гадна бид зөвхөн зорилтот объектыг л таних буюу ямар нэгэн байдлаар роботын явах замд саад учирвал түүнийг тогтоож чадахгүй сул талтай байгаа билээ. Уг асуудлууд дээр үндэслэнэ ROS программ дээр эдгээр

дүрс боловсруулдаг, зай олдог, төв цэгийн утгаар бөмбөг дагадаг зэрэг жижиг программ тус бүрийг зангилаа (node) болгон холбож программын боловсруулалтыг сайжруулах шаардлагатай байна. Мөн Depth камертай хослуулан орон зай орчныг нь загварчлуулж робот өөрийн байршлыг тогтоох гэх мэт нэмэлт үйлдлүүдийг оруулж өгснөөр явалтын сайн үр дүн авчран гэж итгэж байна. Эдгээр зүйлсийг цаашдын судалгаандаа үргэлжлүүлэн судалсаар байх болно.

V. АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

- [1] <https://aburobocon2024.vtv.gov.vn/>
- [2] <https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-nano-developer-kit>
- [3] https://en.wikipedia.org/wiki/Universal_asynchronous_receiver-transmitter
- [4] <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/11/4172> Jianwei Zhao, Shengyi Liu and Jinyu Li, Research and Implementation of Autonomous Navigation for Mobile Robots Based on SLAM Algorithm under ROS
- [5] <https://pyimagesearch.com/2015/01/19/find-distance-camera-objectmarker-using-python-opencv/> Adrian Rosebrock, Find distance from camera to object/marker using Python and OpenCV
- [6] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/geoopt/foclen.html> R.Nave, “Principal Focal Length, Focal Length and Lens Strength”
- [7] https://www.researchgate.net/publication/363534661_A_Review_on_Object_Detection_and_Tracking_Methods Payal Panchal, Gaurav Prajapati, Savan Patel, Hinal Shah and Jitendra Nasriwala, “A Review on Object Detection and Tracking Methods”
- [8] Bruno M. F. da Silva, Rodrigo S. Xavier and Luiz M. G. Gonçalves, “Mapping and Navigation for Indoor Robots under ROS: An Experimental Analysis”, Federal University of Rio Grande do Norte, Campus Universitário
- [9] https://github.com/ahmetozlu/color_recognition by ahmetozlu, “color_recognition” source code
- [10] <https://opencv.org/about/>

ТОСНЫ ХИЙН ХРОМОТОГРАФЫН ШИНЖИЛГЭЭНИЙ АРГААР ТРАНСФОРМАТОРЫН ГЭМТЛИЙГ ОНОШЛОХ

Н.Бат-Оргил¹, Төрбилэг², Л.Халиун³, Эрдэнэтуяа⁴

Монгол Улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Цахилгаан инженерийн салбар

*Холбогдох зохиогчийн и-мэйл хаяг: bato.batorgil@gmail.com¹, turbilegturuu5@gmail.com²

Хураангуй— Автомат удирдлагатай робот бие даан явах, шийдвэр гаргахад зайлшгүй шаардлагатай зүйл бол орчны мэдээллийг хангалттай сайн цуглуулах явдал юм. Робот нь өнгө, хэлбэр, хэмжээ, хэр зайтай байгаа гэх орчны мэдээлэл дээр тулгуурлана өөрийг байршил, тогтоох болон объектын байршил, төлөвийг тодорхойлох бүрэн боломжтой билээ. Бидний хувьд RGB камер ашиглан объектын өнгө нь дээр нь тулгуурлана таньж зай болон объектын камер нь дээрх дүрсний аль координат дээр байгаагаас нь хамаарч хоёр хөтлөгч дугуйтай жижиг туршилтын роботын явалтын удирдлагын сигналын боловсруулах тал дээр туршилтыг JetsonNANO ашиглан амжилттай хийж гүйцэтгэлээ.

Түлхүүр үг— *хроматограф, трансформаторын тос*

I. УДИРТГАЛ

Цахилгаан эрчим хүчний трансформаторууд нь хүчдэлийг хувиргах, эрчим хүч дамжуулах чухал ажлыг хариуцдаг цахилгаан системийн хамгийн чухал төхөөрөмж юм. Трансформатор доголдвол их хэмжээний цахилгаан тасарч, эдийн засаг, нийгэм, хувь хүний хувьд тоо томшгүй олон хохирол амсдаг. Трансформатор доторх тусгаарлах хийцүүд дулааны болон цахилгааны үйлчлэлээр хуучралтанд орсны улмаас бүтцийн өөрчлөлтөнд орж хатуу, шингэн, хийн төлөв байдалтай янз бүрийн бодисууд ялгарна. Трансформатор тос нь бидний мэдэхээр дараах үүрэгтэй:

1. Найдвартай сайн тусгаарлага байх.
2. Төхөөрөмж халахад түүнийг хөргөх хөргөлтийн шингэн байх.
3. Тос дүүргэгдсэн өндөр хүчдэлийн таслууруудад бол үүссэн нумыг унтраах идэвхтэй орчин болох.

Үүнээс гадна Трансформатор тос нь өндөр хүчдэлийн тоноглолын дотоод байдлыг оношлох оношилгооны хэрэглүүр болох. Трансформаторын тосон дахь хийн ялгаралтын хэмжээ нь цахилгаан орны хүчлэг, тухайн хэсгийн температурын хэмжээнээс ихээхэн хамаарна. Тосны хүчиллэг ихэссэнээс хатуу материалуудын хуучралт түргэсэж, тэдгээрийн цахилгаан ба механик даац эрс буурна. Тосон доторх ус чийг нь хөндийрүүлгийн алдагдлыг нэмэгдүүлэхээс гадна хатуу материалуудад нэвчиж тэдгээрийн задралын процессыг улам эрчимжүүлнэ. Тосон дотор ялгарсан хийнүүд нь эхний үедээ тосны молекултай нэгдэж уусмалын төлөв байдалтай байх боловч эцэстээ хийн ханалт үүсэж чөлөөт бөмбөлөг, хөөсөнцөр хэлбэртэй болно. Эдгээр хийн бөмбөлгүүд дотор ионжилт, бяцхан цахилалт үүсэж, хийцийг гэмтээж эхэлнэ. Тиймээс трансформаторын

дотор үүсэж буй далд эвдрэлийг трансформаторын тосонд ууссан хийн хроматографийн шинжилгээгээр олж болно.

II. ОНОЛЫН ХЭСЭГ

Гэмтлүүдийн төрлүүд

Маш их гэмтэлтэй тоноглолд дотоод шинжилгээ хийхэд доорх илэрч болох бодит гэмтлүүдийг гарсан байна. Үүнд:

- Цаасан тусгаарлага дахь полимерийг үгүй болоход үүсэх эсвэл цаасан тусгаарлага дахь нүүрсжсэн нүх үүсэж улмаар хий үүсэх хүйтэн плазма (корон) төрлийн Бяцхан цахилалт. Энэ төрлийн гэмтлийг олоход хялбар биш.
- Тосонд эсвэл цаасанд том хэмжээний нүүрсжсэн орон зай цаасаар дамжин үүсэх, цаасны гадаргуугийн нүүрсжилт эсвэл тосон доторх нүүрстөрөгчийн хэсгүүд /хүчдэл тохируулагчийн ажиллагааны үеийн/ зэргээс үүсэх бага энергийн тасралт /D1/.
- Их хэмжээний эвдрэл ба цаасны нүүрсжилт, тасралтаас үүдэн гарах төмөр хийцийн хайлах байдал, тосон дахь их хэмжээний нүүрсжилт, зарим тохиолдолд тоноглолын сул хөдөлгөөнтэй байдлаас үүсэх их хэмжээний гүйдэл гүйх зэрэг их энергийн тасралт /D2/.
- 300°C градусаас доош байх үеийн цаасны өнгө илүү хүрэн болж хувирсан /T1/ болон 300 °C градусаас дээш байх үед цаас нь нүүрсжэн /T2/ бол тос болон цаасанд үүсэх дулааны гэмтэл...
- 700°C -аас дээш /T3/ үед тосны нүүрсжилт, металлын өнгө хувиралт /800°C/, метал

хайлах /1000°C-с дээш/ байхад үүсэх дулааны гэмтэл

Туршилтын төрлүүд

Олон улсын практикт тусгаарлагч тосонд дараах төрлийн хэмжилт туршилтуудыг явуулдаг. Үүнд:

1. Трансформаторын тосон дахь ус, чийгний агууламжийг тодорхойлох.
Туршилтын стандарт арга: IEC 814
2. Трансформаторын тосны цахилгаан даацыг тодорхойлох.
Туршилтын стандарт арга: IEC 156
3. Тусгаарлах тосны исэлдэлтийн буюу саармагжилтын тоог тодорхойлох.
Туршилтын стандарт арга: ASTM D974
4. Шингэн фазуудын таталцах хүчийг тодорхойлох
Туршилтын стандарт арга: ASTM D971
5. Тосны хөндийрүүлгийн алдагдал tgα-г тодорхойлох. Туршилтын стандарт арга : IEC 247
6. **Тосонд ууссан хийнүүдийн хроматографын шинжилгээг явуулах Туршилтын стандарт арга: EC 567**
7. Тосны зуурамтгай чанарыг тодорхойлох.
Туршилтын стандарт арга: IEC 296
Тосон дахь фураны нэгдлүүдийг тодорхойлох туршилтын стандарт: EC 455

Трансформаторын доторх гэмтлийн эхний үе шатанд ялгарах хийн хэмжээ харьцангуй бага байх тул ялгарсан хийнүүд нь тосондоо зөвхөн уусах процесст орж чөлөөт хийн бөмбөлгүүд үүсэх нь маш бага байна. Энэ үед эхний 2 аргаар шинжилгээг авах нь үр дүн багатай болно. Ашиглалтын үед трансформаторын гэмтлийг эхний үе шатнаас нь оношлох бололцоотой хамгийн шилдэг сайн арга нь тосонд ууссан хийнүүдийн найрлага, эзлэх хувийн жингүүдийг хийн хроматографын аргаар тодорхойлох явдал юм.

Тосны хийн хроматографын шинжилгээний аргаар трансформаторын гэмтлийг оношлох:

Трансформаторын доторх тусгаарлагийн төлөв байдлыг нарийвчлан тодорхойлж болох сүүлийн үеийн боловсронгуй аргын нэг нь тосны найрлага, түүнд агуулагдаж буй хийн концентрацийг тодорхойлох хэмжилт юм. Үүний тулд трансформатороос ердөө 10 мл-ийн хэмжээтэй 2-3 ширхэг тосны дээж авч, хийн хроматографын аргаар лабораторийн задлан шинжилгээ явуулна. Ашиглалтын явцад тусгаарлах хийцийн ажиллагаанд үнэлэлт өгч, уусаж байгаа гэмтэл согогууд, тэдгээрийн байрлал, үзүүлэх хор нөлөөг

тогтоохын тулд дараах шатны ажлуудыг хийх шаардлагатай. Үүнд:

- Хяналтын үзүүлэлтүүдийн хэмжээ, өсөлтийн хурд зэргийг тодорхойлж, хэмжилтийн утгуудыг зөвшөөрөгдөх хамгийн их утгуудтай харьцуулан дүгнэх
- Гэмтэл, согог, хуучралтын байдлыг тогтоосон хэмжилт, судалгааны бүх үр дүнг нэгтгэн дүгнэж, гэмтлийн түвшин нь тухайн төхөөрөмжийн найдвартай ажиллагаанд хэр аюултай болохыг тогтоож, цаашид ашиглаж болох эсэх талаар эцсийн дүгнэлт гаргах.

ХРОМОТОГРАФ ШИНЖИЛГЭЭНИЙ ХҮСНЭГТ

1-Р ХҮСНЭГТ.

Хийн төрлүүд	Цахилгалтын н хэлбэрүүд			Хэсэгчилсэн халалт		
	Нуман цахилгалт	Очит цахилгалт	Баяхан цахилгалт	1000°C-ЭЭС ИХ	300°C-1000°C	300°C-ЭЭС бага
H2	а	а	а	в	г	г
C H4	б	в	в	б	в	в
C2 H6	г	г	г	г	г	а
C2 H4	б	в	г	а	а	в
C2 H2	а	а	в(д)	в	г	-
C3 H8	г	-	-	г	г	б
C3 H6	в	г	-	в	б	г

Тайлбар:

- а- Тухайн гэмтэлд ялгарах үндсэн хий болно.
- б- Тухайн гэмтэлд их хэмжээгээр ялгарах онцлогтой
- в- Тухайн гэмтэлд бага зэрэг ялгарна
- г- Тухайн гэмтэлд нэг их чухал бус хий
- д- Энерги зөвхөн их хэмжээгээр ялгарах үед үүсэх хий

Трансформаторын тосон доторх хийн найрлагын хэмжээгээр ямар гэмтэл байгааг дараах зарчмыг баримтлан тогтоож болно. Үүнд:

1. Тосон дотор нум үүссэний улмаас тосны эзлэхүүний 60-80%-д ус төрөгч, 10-25%-д ацетилен 1.5-3.5%-д метан, 1-2%-д этилен үүснэ. Энэ нүүрстөрөгчийн ислүүд бараг үүсдэггүй онцлогтой
2. Тос- хаавчин тусгаарлаганд очит цахилгалт үүсэхэд ус төрөгч, ацетилен, метан дээрхээс арай лу хома сисе гадна, тосны эзлэхүүний 15-20%-д нүүрстөрөгчийн дан исэл үүсдэг онцлогтой

3. Тос-хаавчин тусгаарлаганд сулавтар бяцхан цахилалт үүссэний улмаас устөрөгчийн хий голлон ялгарах ба бага зэргийн метан, нүүрстөрөгчийн CO, COг ислүүд илэрнэ. Харин ацетилен энэ үед үүсдэггүй онцлогтой.
4. Тосны зарим хэсгийн халалт 400°C-ээс их болоход тос дулааны задралтанд орж нам молекулд нүүрстөрөгчийн нэгдлүүд, этан, этилен, устөрөгчийн хийнүүд ялгарна. Халалт 600°C-ээс их болоход метан, устөрөгчийн хий голчлон үүснэ. Тос агаарын хүчилтөрөгчтэй шууд харьцаж ажиллах үед нүүрсхүчлийн хий-сOг ялгарна
5. Тос-хаавчин тусгаарлага шатаж түлэгдэх болон түүнд 500°C-ээс дээш халалт устөрөгчийн хий со голлон ялгарах ба нүүрстөрөгчийн исэл-CO, мөн устөрөгчийн хий бага зэрэг үүснэ.

ХИЙН ҮНДСЭН ХАРЬЦАА

2-Р ХҮСНЭГТ

Тох иол дол	Гэмтлийн шинжэ чанар	C ₂ H ₂ / C ₂ H ₄	CH ₄ / H ₂	C ₂ H ₄ / C ₂ H ₆
PD	Бяцхан цахилалтууд /Тайлбар 3,4 -г харах/	NS ¹⁾	< 0.1	< 0.2
D1	Бага энергийн тасралтууд	> 1	0.1 - 0.5	> 1
D2	Их энергийн тасралтууд	0.6 - 2.5	0.1 - 1	> 2
T1	Дулааны гэмтэл, t < 300°C	NS ¹⁾	> 1 гэвч NS ¹⁾	< 1
T2	Дулааны гэмтэл, 300°C < t < 700°C	< 0.1	> 1	1 - 4
T3	Дулааны гэмтэл, t < 700°C	< 0.2 ²⁾	> 1	> 4

Тайлбар 1. Зарим улс оронд CH₄ / H₂ харьцаанаас C₂H₄ / C₂H₆ харьцааг илүү өргөнөөр ашигладаг. Түүнчлэн зарим улс оронд бага зэргийн өөр харьцааг ашигладаг.

Тайлбар 2. Хэрэв зөвхөн аль нэг хий нь ердийн хэмжээнээс ихэссэн найрлагатай болон үзүүлэлттэй байвал дээрх харьцаа нь бодитой байх ба тооцоолон бодож болдог.

Тайлбар 3. CH₄ / H₂ < 0.2 байвал хэмжүүрийн трансформаторт бяцхан цахилалт явагддаг. CH₄ / H₂ < 0.07 оруулгуудад бяцхан цахилалт явагддаг.

1/ NS = Ямар ч хэмжээ нь бодитой бус

Гэмтэл нь ихэвчлэн бага энергийн эхэн үеийн гэмтэл маягаар илэрдэг ба суурилагдсан хийн дохиолол, эвдрэл болон саатал зэргээс шалтгаалан гарсан их энергийн илүү чухал хэсэгт ихээр нөлөөлдөг.

Гэмтлийг эрт үед илрүүлвэл хийн концентрацийн өсөлтийн талаарх мэдээллийг мэдэж авахаас гадна

эцсийн шатанд үүсч болох их хэмжээний гэмтэл, саатлыг урьдчилан мэдэх боломжийг нээж өгдөг.

Жишээлбэл, зарим төрлийн гүйдлийн трансформатор нь бяцхан цахилалтаас үүссэн их хэмжээний устөрөгчийг агууламжтай удаан хугацаанд ашиглагдсан байдаг. Хэдий тийм боловч бяцхан цахилалт нь полимерийн үүслээс шалтгаалсан байж болно. Полимер хангалттай хэмжээнд хүрэхэд цаас-тосон тусгаарлагд сарнилтын алдагдал өсөж, дулааны гэмтэл бий болсноор эцэст нь дулаан алдагдаж эвдрэл болдог.

III. ҮР ДҮН

Бидний дүн шинжилгээ хийх гэж буй трансформатор Швейцар улсын ABB ltd компанийн трансформатор юм. Одоогоор Оюу толгойн уурхай байрлах Ханбогд суманд ашиглагдаж байгаа юм. Ингэхдээ жилд нэг удаа тосны хийн хроматографын шинжилгээнд ордог. Ингэснээр тухайн үед ямар гэмтэл гарсныг трансформаторыг гэмтээлгүйгээр үзэхээс гадна ирээдүйд цаашид үүсэх боломжтой гэмтлүүдийг тооцоолж, засах боломжийг олгох юм. Монголд тосны хийн хроматографын шинжилгээг TECHENOMICS MONGOLIA LLC гэх газар хийдэг бөгөөд 2013 оноос хойш үйл ажиллагаагаа явуулсаар ирсэн юм. Ийнхүү 2015-2019 оны хугацаанд хийгдсэн 5 удаагийн тосны хийн хроматографын шинжилгээний хариу дээр бид дүн шинжилгээ хийж байгаа юм.

ТРАНСФОРМАТОРЫН ҮЗҮҮЛЭЛТ

3-Р ХҮСНЭГТ

DATA	
Customer	Oyutolgoi LLC
Address	Khanbogd soum umnugobi
Equipment ID	3700-XMR-192
Design Op (KV)	6300/690V
Serial number	010577/003
Brand	ABB
Power(KVA)	1600
Oil capacity	700kg

DISSOLVED GAS ANALYSIS (DGA)

ELEMENT	Method	Unit	SAMPLE PERIOD (dd/mm/yy)					Recommended limit	
			3/11/2015	2/3/2016	6/8/2017	2/13/2018	7/13/2019	Normal	Problem
Hydrogen (H ₂)	ASTM D-3612	ppm	11285	1298.5	87.95	734.54	631.22	<150	>1000
Oxygen (O ₂)		ppm						<3000	>5000
Carbon Monoxide (CO)		ppm	174.8	102.94	76.05	486.19	441.66	<500	>1000
Carbon Dioxide (CO ₂)		ppm	22.22	10.57	358.86	468.52	602.78	<10,000	>15,000
Methane (CH ₄)		ppm	680.51	211.87	96.05	69.9	84.01	<25	>80
Ethylene (C ₂ H ₄)		ppm	1084.09	377.89	99.83	43.34	48.01	<20	>100
Ethane (C ₂ H ₆)		ppm	133.3	15.36	10.61	3.46	2.94	<10	>35
Acetylene (C ₂ H ₂)		ppm	41.84	0.01	14.12	6.72	8.27	<15	>70
Total Dissolved Combustable Gas		ppm						500	>2500

1-р зураг. Хроматографын шинжилгээний хариу

Тайлбар:

Ногоон: Хэвийн

Шар: Анхаарах шаардлагатай

Улаан: Асуудалтай

Хариу:

2015 он:

Нийт хийн 60-80 хувьд H₂ бий учраас нуман цахилалт байх боломжтой. Мөн үүнээс гадна CH₄,

C₂H₄, C₂H₆ хийнүүд хэвийн хэмжээнээс хэтэрч, аюултай түвшинд хүрсэн тул нэн яаралтай засах арга хэмжээг авах хэрэгтэй.

2016 он:

Хэд хэдэн хий аюултай хэмжээнд байгаагаас гадна C₂H₂ нь огт үүсээгүй байсан учраас энэ нь сулавтар бяцхан цахилалт үүссэнийг харуулна. Өмнөх жилийнхтэй харьцуулбал бага зэрэг дээрдсэн үзүүлэлт харагдана.

2017 он:

Хийн харьцаанууд дээр үндэслэн тооцоход тосны зарим хэсгийн халалт 400С их үед дараах байдлаар хариу гардаг. Энэ нь ноцтой гэмтэл биш ч гэсэн удаан хугацаанд үргэлжилбэл ноцтой гэмтлүүдийн шалтгаан болох тул анхаарах шаардлагатай.

2018-2019 он:

Сүүлийн 2 жилээн хариунаас харахад хийнүүдийн хэмжээ тогтмол утгатай эсвэл хэвийн утгатай ойр байгаа учраас трансформатор маань гэмтэлгүй байна гэж үзэж болно. Ийнхүү бид трансформаторын аюулгүй, тогтвортой ажиллагааг ханган цахилгаан эрчим хүчийг тасралтгүй найдвартай хангаж чадахаар боллоо.

IV. ДҮГНЭЛТ

Тосны хийн хроматографын шинжилгээ маань харьцангуй сүүлд бий болсон арга билээ. Манай Монгол улсад ийм компьютер оношилгоо байдаггүй байсан бол одоо ороод ирсэн. Трансформаторт ямар ч гэмтэл үүсгэлгүй, зөвхөн 10г тосонд шинжилгээ хийдэг болсон нь энэхүү арын хамгийн том давуу тал билээ. Бидний зорьж, олох гэсэн үр дүн маань тогтмол тосны хийн хроматографын шинжилгээг хийлгэснээр ирээдүйд учрах эдийн засгийн ашиггүй зардлыг халан, найдвартай ажиллагаатай системийг бий болгох бололцоотойг 5 жилийн шинжилгээний үр дүнгээр харуулахыг зорьсон нь тун амжилттай боллоо. Тиймээс бидний хүсэж буй зүйл бол тоног төхөөрөмжөө эвдрэхээс өмнө, гэмтэл авахаас өмнө трансформаторын тосоо өгөөд оношлуулахыг уриалж байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

- [1] З.Цэрэндорж,Ц. Эрдэнэчимэг, Өндөр хүчдэлийн техник 4, Улаанбаатар хот, 2012.
- [2] Стандартчилал хэмжил зүйн газар, Ашиглалтын үеийн ханасан эрдэс тостой цахилгаан тоног төхөөрөмж - Ууссан болон чөлөөт хийн шинжилгээний тайлбар заавар, Улаанбаатар, 2016.
- [3] <https://estandard.gov.mn>
- [4] <https://www.techenomics.net>
- [5] <https://www.electrical4u.com/dga-or-dissolved-gas-analysis-of-transformer-oil-furfural-or-furfuraldehyde-analysis/>
- [6] <https://www.reinhausen.com/dissolved-gas-analysis-dga>
- [7] <https://new.abb.com/offerings>
- [8] <https://www.dynamicratings.com/solutions/transformer-monitoring/dga-monitoring/>
- [9] https://en.wikipedia.org/wiki/Dissolved_gas_analysis

МОНГОЛ УЛСЫН ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ ӨГӨГДЛИЙН САН БАЙГУУЛАХ, АНАЛИЗ ХИЙХ

Э.Баярцэнгэл, Б.Өсөхсайхан, Т.Батгэрэл¹

¹Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Цахилгаан техникийн салбар
*Холбогдох зохиогчийн и-мэйл хаяг: byrkaa46@gmail.com, batgerelt@must.edu.mn

Хураангуй—Сүүлийн жилүүдэд эрчим хүчний салбарын хэрэглээ хурдацтай нэмэгдэж улмаар эх үүсвэрийн дутагдлын асуудал улам хүчтэй яригдах болсон нь салбарынхны гол бэрхшээл болоод байна. Эрчим хүчний эх үүсвэрийн дутагдалтай орны хувьд энэ их өсөлттэй хэрэглээг хэрхэн тогтвортой байлгах талаар ярьдаг ч бодит амьдрал дээр биеллээ олохгүй байна. Тиймээс хязгаарлагдмал эрчим хүчний нөөцтэй манай орны хувьд энэ асуудлаас гарах гарц нь хэрэглээг хэмнэх, хянах, шуурхай тооцоолох юм. Иймээс энэхүү судалгааны ажлаар гүйдэл, хүчдэлийн мэдрэгч ашиглан хэрэглэгчийн бодит цагийн хэрэглээг харуулсан систем хийсэн.

Түлхүүр үг— эрчим хүч, эх үүсвэр, эрчим хүчний хэрэглээ, өгөгдлийн сан, анализ, *myRIO*, *LabVIEW*

I. УДИРТГАЛ

Эрчим хүчний системийн нэн тэргүүний зорилго бол хэрэглэгчийг найдвартай, чанартай, тасралтгүй эрчим хүчээр хангах явдал юм. Гэвч сүүлийн жилүүдэд Монгол орны эрчим хүчний системийн ачаалал хурдацтай өсөж улмаар гадаад улсаас эрчим хүчийг өндөр үнээр импортлон авч байна. Иймд дотоодод үйлдвэрлэж буй эрчим хүчний хэмжээг нэмэгдүүлж улмаар гадаад улс орноос хараат бус байх нь чухал юм. Тиймээс энэхүү эрдэм шинжилгээний ажлаар Монгол улсын ЭХС-ийн загварыг судалж, өгөгдлийн мэдээ мэдээллийг автоматжуулж, программ хангамжаар хөгжүүлэх боломжит судалгаа хийсэн. Энэхүү систем нь холбогдсон өгөгдлийн сан, төхөөрөмжүүдийнхээ мэдээлэл, үйл явц, үр дүнг байнгын хянаж байх шаардлагатай. ЭХС-ийн үйлдвэрлэл, нийлүүлэлтийн төлөвлөлтийг үнэн зөв хийхэд тус нэмэр болдог. Ингэснээр хамгийн түгээмэл гардаг машин, тоног төхөөрөмжийн элэгдэл хорогдлыг багасгаж насжилтыг уртасгах боломжтой болох юм.

МУ-ын эрчим хүчний систем нь өнөөдрийн байдлаар дулааны цахилгаан станц 9, Дөргөн, Тайширын усан цахилгаан станц, Алтай, Улиастайн дизель станцууд болон бага, дунд чадлын сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсвэрүүдээс цахилгаан эрчим хүчийг дотооддоо үйлдвэрлэж байгаа бол ОХУ-аас импортоор худалдан авч 220 кВ, 110 кВ-ын дэд станц, дамжуулах сүлжээ, түгээх сүлжээгээр дамжуулан Монгол Улсын 330 гаруй сум, суурин газрын цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээг хангаж байна. Түүнчлэн Ухаа-худагийн цахилгаан станц, Эрдэнэтийн уулын баяжуулах үйлдвэрийн цахилгаан станцууд өөрийн уурхай болон үйлдвэрлэлийн хэрэглээгээ, харин Оюутолгой ордын эрчим хүчний хэрэглээг тэжээлийн нөөц дизель цахилгаан станцаар ханган ажиллаж байна.

МУ-ын эрчим хүчний системийн хөгжлийн чиг хандлагыг судалж, их өгөгдлийн сан үүсгэх, өгөгдлийн анализ хийхэд доорх зорилтуудыг тавьж байна.

Монгол улсын Засгийн Газар ногоон хөгжил, сэргээгдэх эрчим хүчийг хөгжүүлэх Ногоон хөгжлийн бодлого (НХБ) болон Тогтвортой хөгжлийн бодлого-2030, Алсын хараа 2050 бодлогын бичиг баримтуудыг баталсан. Үүний хүрээнд нар, салхи, усны сэргээгдэх эрчим хүч үйлдвэрлэх суурилагдсан хүчин чадлын нийт эрчим хүчний системийн суурилагдсан хүчин чадалд эзлэх хувийг 2030 он гэхэд 30 хувь хүртэл нэмэгдүүлэх зорилготой. Иймээс ирээдүйн алсын хараа нь бидэнд хэмжүүр, хяналтын тоног төхөөрөмжүүдийг түүнтэй уялдуулан сайжруулах техникийн шаардлага тавигдаж байна. Монгол орны хүн ам, эдийн засгийн өсөлтийг дагаад эрчим хүчний хэрэглээ жилээс жилд өсөн нэмэгдэж байна. 2019 оны байдлаар Монгол Улсын цахилгаан эрчим хүчний нийт хэрэглээ 8719.1 сая кВт.ц болж өмнөх онуудаас 5.7%-иар өссөн байна. Энэхүү өсөн нэмэгдэж байгаа хэрэгцээг чанартай эрчим хүчээр тасралтгүй, найдвартай хангах нь эрчим хүчний салбарын зорилго юм. Иймээс тус салбар одоо ажиллаж байгаа цахилгаан станцуудын хүчин чадлыг өргөтгөх, шинээр эх үүсвэрүүд барих, салбарт эрчим хүчний хэмнэлтийн бодлого хэрэгжүүлэх зэрэг ажлуудыг хийж байгаа хэдий ч ОХУ-аас эрчим хүч импортлох хувь хэмжээ буурахгүй байна. [1]

Монгол улсын эрчим хүчний системийн суурилагдсан хүчин чадал дизель станцын хэмжээг оролцуулахгүйгээр 1370 МВт хүрээд байна. 2019 оны байдлаар цахилгаан эрчим хүчний үйлдвэрлэлийн хэмжээ 7003.3 сая кВт.ц болж өнгөрсөн оноос 5.71%-иар, дулааны эрчим хүчний үйлдвэрлэл 9890.7 мянган Гкал болж өнгөрсөн оноос 362.2 мян. Гкал буюу 3.8%-аар тус тус өссөн байна. Сүүлийн жилүүдэд улс орны хөгжил, нийгэм эдийн засаг, хүн амын өсөлттэй уялдан эрчим хүчний хэрэглээ тасралтгүй нэмэгдэж байгаа бөгөөд энэ хэрэгцээг найдвартай хангах үүднээс эрчим хүчний үйлдвэрлэлийн хэмжээ жил бүр тасралтгүй өсөж байна. Монгол улсын хэмжээнд нийт цахилгаан хэрэглээний 80.3%-ийг дотоодын үйлдвэрлэлээс,

үлдсэн 19.7%-ийг ОХУ-аас импортоор худалдан авч хангаж байна [1]. Иймээс үйлдвэрлэл, хэрэглээний төлөвлөлт зохицуулалтыг зөв хийх, системийн эх үүсвэрийн оновчтой төлөвлөх шаардлага тулгараад байна.

II. ОНОЛЫН ХЭСЭГ

Цахилгаан эрчим хүчийг дулааны цахилгаан станц (ДЦС), усан цахилгаан станц (УЦС), атомын цахилгаан станц, нар, салхины станцад үйлдвэрлэж, цахилгаан дамжуулах шугамаар хэрэглэгчдэд хүргэнэ. Цахилгаан эрчим хүчний систем нь үйлдвэрлэх, дамжуулах, түгээх гэсэн үндсэн 3 хэсгээс бүрдэнэ.

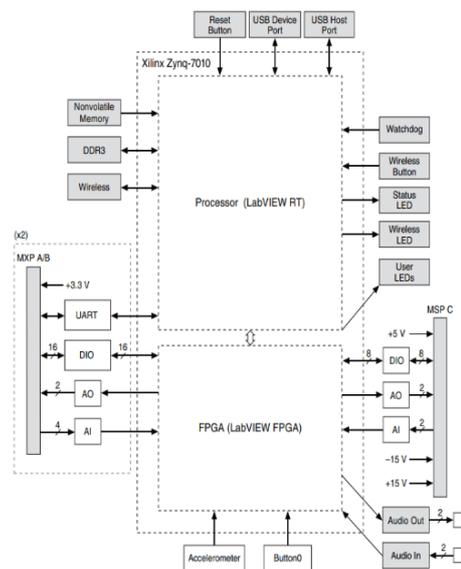
ЦЭХ-ний үйлдвэрлэл гэдэг нь аль нэг төрлийн эрчим хүчийг цахилгаан болгон хувиргах үйл ажиллагаа бөгөөд хэрэглэгчдийг цахилгаанаар хангах үйл ажиллагааны эхний шат болно. Дараа дараагийн шат болох цахилгаан эрчим хүчийг дамжуулах, түгээх үйл ажиллагааг эрчим хүчний байгууллагууд гүйцэтгэнэ. Цахилгааныг үйлдвэрлэхдээ ихэвчлэн түлш шагааж түүний эрчим хүчээр ажиллах анхдагч хөдөлгүүр бүхий цахилгаан механик тоноглол болох генератораар үйлдвэрлэн гаргахаас гадна урсгал ус, салхины кинетик энерги, нарны зай ашиглах гэх мэт сэргээгдэх эрчим хүч ашиглаж болно. Цахилгаан эрчим хүчийг дамжуулах гэдэг нь цахилгаан станцаас дэд станц руу хүчдэлийн өндөр түвшнийг их хэмжээгээр шилжүүлэх явдал юм. Цахилгаан эрчим хүчийг хол зайд үр ашигтай дамжуулахын тулд өндөр хүчдэл шаардлагатай. Энэ нь гүйдлээс үүсэх алдагдлыг бууруулдаг. Дамжуулах шугам нь хувьсах гүйдэл (AC) эсвэл тогтмол гүйдэл (DC) аль алийг нь ашиглана. Хүчдэлийн түвшнийг трансформаторын тусламжтайгаар өөрчлөх боломжтой.

Тухайн бүс нутгийн бүх хэрэглэгчдийг их хэмжээний эрчим хүчний эх үүсвэр эсвэл дамжуулах шугамтай холбосон цахилгаан эрчим хүчний системийн бүрэлдэхүүн хэсгийг түгээлтийн систем гэнэ. Цахилгаан эрчим хүчийг түгээх үйл явц нь эрчим хүч хэрэглэгчдэд хүрэх эцсийн шат юм. Эрчим хүчийг дамжуулах системээс хуваарилан хэрэглэгчдэд хүргэдэг. Түгээх дэд станцууд нь дамжуулах системд холбогдож, трансформаторын тусламжтайгаар түгээх хүчдэлээ 2 кВ-оос 33 кВ хооронд дунд хүчдэл рүү бууруулна.

Энэхүү судалгааны ажлын туршилтыг гүйцэтгэх техник хангамжийн хувьд National Instruments myRIO-1900 нь зөөврийн, тохируулагдах боломжтой I/O төхөөрөмж юм. Оюутан залуус удирдлагатай робот техник, мехатроникийн системийг зохион бүтээхэд ашиглаж болно.

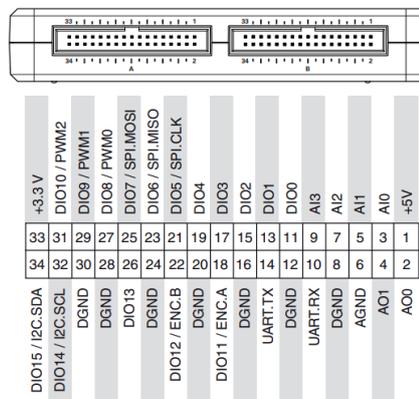


Зураг 1. NI myRIO-1900.

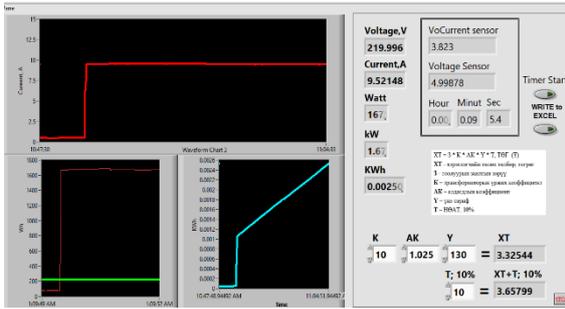


Зураг 2. NI myRIO-1900 Техник хангамжийн блок диаграмм.

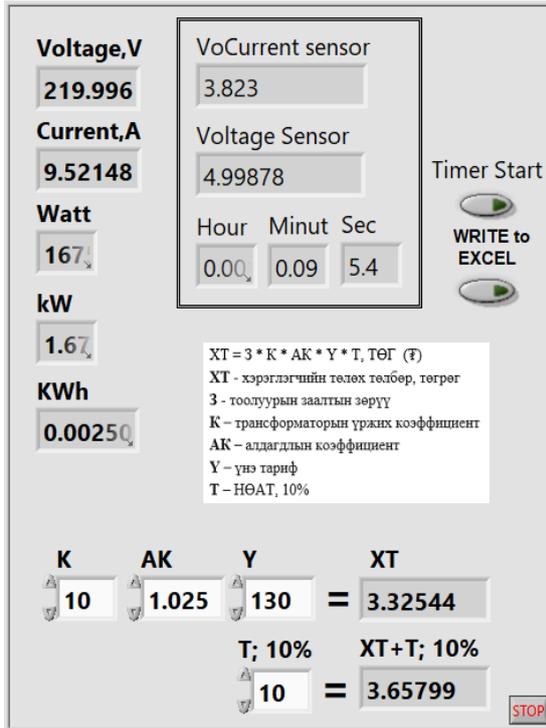
NI myRIO-1900 өргөтгөлийн порт (MXP) холбогч А ба В нь ижил дохиог дамжуулдаг. Дараах зурагт MXP холбогч А ба В дээрх сигналыг харуулав. Зарим хөлүүд нь үндсэн функцээс гадна хоёрдогч функцийг үүргийн гүйцэтгэдэг.



Зураг 3. MXP А ба В холбогч дээрх анхдагч/хоёрдогч сигнал.



Зураг 11. Ачаалал залгах үеийн хүчдэл,чадлын график.



Зураг 11. Ачаалал залгах үеийн хүчдэл,чадлын параметрууд ба төлбөр.

- а. К-трансформацлах коэффициент.
- б.АК-алдагдлын коэффициент.
- в.UNE-нэг кВт*цагийн үнэ.
- г.TULBUR-нийт хэрэглээний зардал.
- д.TULBUR NUATTEI-НӨАТ шингэсэн зардал.

Энэ туршилтаар зөвхөн гүйдэл, хүчдэл хэмжихээс гадна хэрэглэсэн цахилгааны төлбөрийг тооцох гэж оролдсон. Гүйдэл, хүчдэлийн мэдрэгчүүдэд мультметрийн тусламжтайгаар тохируулсан ба мэдрэгчийн программ дээрх заалт, амперметрийн заалт хоорондоо тохирсноор энэ туршилт нь үнэн зөв болж байгааг харуулсан.

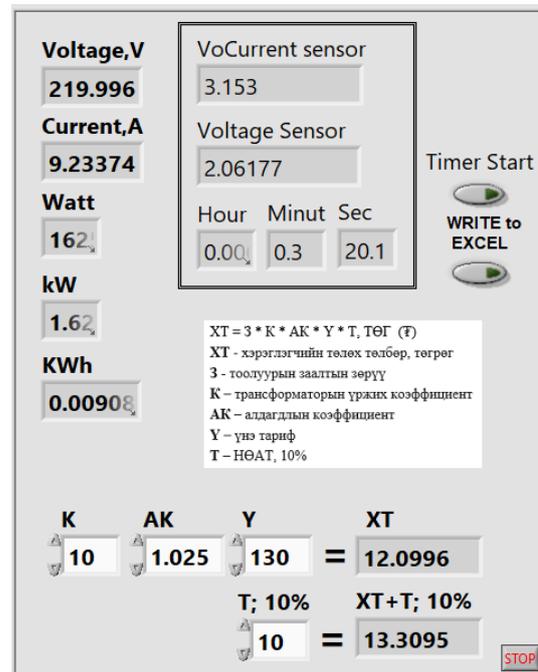


Зураг 12. Амперметрийн заалт.

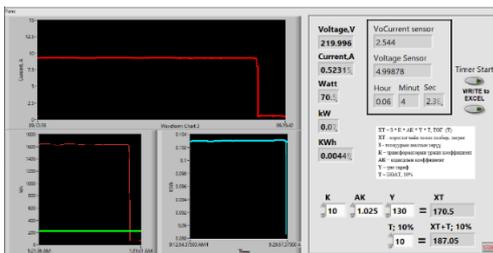
Ачаалал залгагдах үед гүйсэн гүйдэл нь 9.3А ба чадал дагаад бас огцом өссөн.



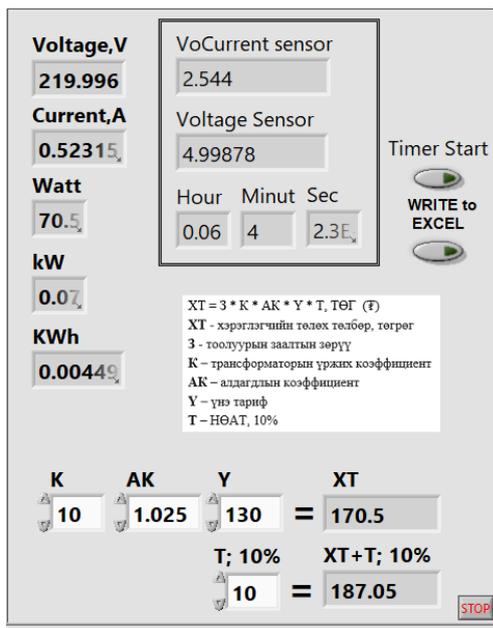
Зураг 13. Ачаалал залгасан хэвийн үеийн параметрууд.



Зураг 13.1 Ачаалал залгасан хэвийн үеийн параметрууд ба төлбөр.



Зураг 14. Ачаалал салгах үеийн параметрууд.



Зураг 14. Ачаалал салгах үеийн параметрууд ба төлбөрийн заалт.

Туршилтаар ачаалалд өгөгдсөн ус буцалгагч нь 2000-2400Вт -н чадалтай байсан ба дотор нь 1.4л ус байсан гэж үзвэл. Бид нэг удаа 1.4л ус буцалгахад орчим 170₮ зарцуулсан. Үүний дээр НӨАТ нэмэгдвэл 187₮ болно.

IV. ХАРЬЦУУЛСАН ҮР ДҮН

Цахилгаан тоолуурыг бодвол LabVIEW myRIO нь бүхий л цаг хугацааны явцад мэдрэгчээр авсан хэмжилт эсвэл бусад эх сурвалжаас ирэх өгөгдлийг бүртгэж дамжуулах боломжтой. myRIO төхөөрөмж, LabVIEW 21.0 программ болон бусад мэдрэгчүүдийн хамтаар ашиглан хэрэглэгчийн хэрэглэсэн цахилгаан эрчим хүчний төлбөрийг бодит цагийн синхрон системээр харуусан. Энэхүү системийг цаашид хөгжүүлж өдөр, шөнийн заалтаар бодох, реле автомат удирдах, IoT-д холбох, MS Excel дээр бүртгэл, өгөгдлийн сан үүсгэх бүрэн боломжтой. Бусад төхөөрөмжтэй харьцуулбал myRIO нь өөрөөсөө Wifi-тай тул IoT-д холбогдоход илүү хялбар ба бие даасан тусгай систем болж чадаж байна.

V. ДҮГНЭЛТ

Бидний судалгааны ажил хямд өртгөөр иж бүрэн цахилгаан тоолуурын системийг бүтээсэн. Энэ туршилт нь онолын тооцоотой утгын хувь ойролцоо гарч чадсан нь цаашид хөгжүүлж цогц хяналтын систем бүрдүүлэх боломжтойг харуулж байна. Үүнээс гадна өөрийн гэрийн залгуур эсвэл бусад эх үүсвэрээ бусдад зарах, түгээх бүрэн боломжтой. ЭХС-н эх үүсвэр, дамжуулах, түгээх шатанд эрчим хүчний хяналт удирдлага хийгддэг ч хэрэглэгч дээр төдийлөн хийгдээгүй. ЭХС-н хэрэглэгч шатанд хяналт удирдлага бүрэн хийгдвэл системийн алдагдал буурч үр ашиг нэмэгдэнэ. Зарим үед чадлын илүүдэлтэй эсвэл чадлын дутагдалтай ажилладаг системд чадлын баланс тогтоход өндөр ач холбогдолтой.

Хэрэглэгч өөрийн төлбөрөө хянах нь үр ашиггүй зарцуулагдсан эрчим хүчийг бууруулах цаашлаад электрон, гэр ахуйн бараа сонгохдоо чадлын үзүүлэлт, АҮК-д анхаарлаа хандуулахад хүргэнэ. Хэрэглэгч бүр шаардлагагүй их чадалтай төхөөрөмж, электрон бараа авахгүй байх нь эрчим хүчний салбарын чадлын дутагдлыг багасгах өндөр ач холбогдолтой.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

- [1] “Эрчим хүчний статистик үзүүлэлтүүд 2014-2019,” ЭХЗХ-ны эмхэтгэл, УБ хот, 2019.
- [2] “Ухаалаг Баянгол судалгааны төслийн тайлан,” УБ, 2019.
- [3] “100 МВт-ын хийн цахилгаан станцын ТЭЗҮ,” 2018.

Эх сурвалж

- [1] <https://www.eia.gov/>
- [2] <https://ikon.mn/>
- [3] <https://erc.gov.mn/>
- [4] <https://towardsdatascience.com/>
- [5] <https://www.nature.com/>
- [6] <https://www.nerc.com/>
- [7] <https://www.iea.org/>
- [8] <https://byjus.com/>
- [9] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>
- [10] <https://www.analyticsvidhya.com/>
- [11] <https://education.nationalgeographic.org/>
- [12] <https://etap.com/>
- [13] <https://www.simplilearn.com/>
- [14] <https://www.savvydiademsolutions.com/>
- [15] <https://www.ni.com/>
- [16] <https://www.dremio.com/>
- [17] <https://www.energystar.gov/>
- [18] <https://www.eia.gov/>
- [19] <https://www.westwoodenergy.com/>
- [20] <https://www.energy.gov.mn/>

БАТАРЕЙ ХЯНАХ СИСТЕМИЙН СУДАЛГАА

Д.Төгсбаяр, Г.Оюунбат, Т.Батгэрэл

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

*Холбогдох зохиогчийн и-мэйл хаяг: tugsbayar0906@mail.com, oyunbat515@gmail.com, batgerelt@must.edu.mn

Хураангуй—Өнөөгийн бидний амьдралыг цахилгаан эрчим хүчгүйгээр төсөөлөхийн аргагүй. Эрчим хүчний хэрэглээ өдрөөс өдөрт өсөн нэмэгдэж байна. Харин хязгаарлагдмал нөөцтэй уламжлалт эх үүсвэрээс энэ их цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээг хангаж чадахгүйд хүрж болзошгүй. Тиймээс зайлшгүй өөр их үүсгэвэр шаардлагатай болно. Энэ нөхцөл шаардлагад сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсвэрүүд маш чухал байр эзэлнэ. Сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсгүүрүүд дотроос фото цахилгаан процессын тусламжтай цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэх арга түгээмэл юм. Манай орны хувьд их чадалтай нарны цахилгаан станц олон тоогоор ашиглалтад орж байгаагаас гадна хөдөө орон нутагт өрх бүр өөрсдийн хэрэглээнд тохирсон нарны цахилгаан үүсгүүр ашиглаж байна. Нарны цахилгаан станцын гол эд анги бол тогтмол гүйдлийн зай хураагуур буюу батарей юм. Нарны цахилгаан станцад батарейнууд нь нартай үед нарны хавтангаас үүссэн илүүдэл цахилгааныг хуримтлуулдаг. Эдгээр батарейнууд нь хэт цэнэглэлт үүсэх, орчин нөхцөл ачааллаас хамаарч халалт үүсэх эрсдэл бий болдог. Энэхүү судалгаагаар батарейны үндсэн параметрууд болон температурыг хянах системийг хийж туршин үр дүнг IoT – д суурилсан бодит цагийн мэдээлэл дамжуулж, мэдээлэл хадгалах систем өгөгдлийн сан үүсгэсэн.

Түлхүүр үг— IoT, Thingspeak, Raspberry Pi, Мэдрэгч, Нарны хавтан, Python

I. УДИРТГАЛ

Эрчим хүчний хэрэглээ өдрөөс өдөрт өсөн нэмэгдэж байгаа үед сэргээгдэх эрчим хүч мөн адил өсөн нэмэгдэж байна. Эрчим хүчний салбар дотроос нарны цахилгаан станцад, дэд станц, болон бүх төрлийн үүрэн телефонууд нь маш их батарей ашигладаг. Эдгээр батарей нь хэт цэнэглэгдэж халалтаас болж тухайн батарей нь нас жилт нь багсаж болно. Энэхүү судалгааны ажлаар батарейны параметруудийг *Raspberry Pi* ашиглан үзүүлэх ба онлайнгаар хяналт хийх системийг судлан авч үзлээ.

Нарны цахилгаан станцад батарейнууд нь нартай үед нарны хавтангаас үүссэн илүүдэл цахилгааныг хуримтлуулдаг. Харин дэд станц, болон бүх төрлийн үүрэн телефонууд ямар нэгэн байдлаар эрчим хүчгүй болоход тухайн газар ажиллаж байгаа стэнд болон серверийг тэжээлтэй байлгахын тулд батарей маш ихээр хэрэглэдэг. Эдгээр олон батарейны нэг нь хэт халж гал гарах боломжтой.

2023 онд Америкийн Нэгдсэн Улсын New York хотын ойролцоох Ontario голын ойролцоох нарны цахилгаан станцад 7 сарын 27-нд гал гарч 7 сарын 30-ны 11 цагт унтраасан байна [1]. Тиймээс энэхүү судалгаан дээр үндэслэн батарейнаас болж гарч болох эрсдэлээс сэргийлэх, батарейг онлайнгаар хяналт хийх системийг авч үзсэн болно.



1-р зураг. Батарей хянах системийн блок диаграмм

II. ОНОЛЫН ХЭСЭГ

Мэдрэгчээс утга аваад түүнийг дамжуулах нь амархан ч бодит хугацаагаар интернэттэй интерфэйс хийх тийм ч амархан биш юм. Төхөөрөмжийг интернэттэй холбогдох буюу “IoT (Internet of Things)” гэж нэрлэдэг. Бодит хугацаагаар интернэттэй интерфэйс хийх олон алгоритмууд байдаг ба бид энэ удаа “ThingSpeak” онлайн платформуыг сонгосон. Энэ платформуыг нь төхөөрөмжөөс ирж байгаа утгыг хугацааны тухайн агшинд хүлээн авч график болон тоон хэлбэрээр хадгална мөн байршил түүнтэй холбоотой мэдээллийг харуулах зэрэг олон давуу талтай.

IoT (Internet of Things)

IoT буюу Internet of Things гэсэн нэр томъёо нь холбогдсон төхөөрөмжүүдийн хамтын сүлжээ, төхөөрөмжүүд болон үүл (cloud) хоорондын харилцаа холбоог хөнгөвчлөх технологийг хэлдэг. Энэхүү харилцан холбогдсон сүлжээ нь төхөөрөмжүүдэд өгөгдөл цуглуулах, солилцох боломжийг олгож, ухаалаг гэр, эрүүл мэнд, хөдөө аж ахуй, үйлдвэрлэл гэх мэт төрөл бүрийн салбарт үр ашиг, автоматжуулалт, шийдвэр гаргах чадварыг сайжруулахад чиглэсэн төрөл бүрийн хэрэглээ, үйлчилгээг идэвхжүүлдэг. [1].

Бодит хугацаан интерфэйс (RTI)

Бодит цагийн интерфэйс нь хэрэглэгчийн оролт эсвэл гадны үйл явдлуудад хамгийн бага сааталтайгаар шууд хариу үйлдэл үзүүлдэг хэрэглэгчийн интерфэйс (UI) эсвэл системийг хэлнэ. Үндсэндээ энэ нь шууд санал хүсэлт, шинэчлэлтүүдийг өгч, хэрэглэгчдэд мэдэгдэхүйц хоцрогдолгүйгээр систем эсвэл програмтай харьцах боломжийг олгодог. [2]

Мэдрэгч

Бид хүчдэл, гүйдэл, температурыг хянахын тулд мэдрэгч ашигласан.

1) Хүчдэл мэдрэгч: хүчдэлийн мэдрэгч модуль ашигласан. Хүчдэл мэдрэх модуль нь резистор тусгаарлагчийн зарчим дээр суурилдаг. Хүчдэл хуваагч модуль нь тэжээлийн хүчдэл нэмэгдэж байгааг илрүүлж чадна 25 В хүртэл [3].

2) Гүйдлийн мэдрэгч: ACS712 нь янз бүрийн загварт байдаг бөгөөд тус бүр нь тодорхой хүрээний гүйдлийг хэмжих зориулалттай Hall-Effect зарчим дээр суурилдаг. Жишээлбэл, гүйдлийн хэмжээг 5А, 20А, 30А эсвэл түүнээс дээш утгыг хэмжих хувилбарууд байдаг [4].

3) Орчны температур мэдрэгч: Температур мэдрэгч нь орчны температурыг хэмжихэд ашигласан. DHT11 мэдрэгч нь мэдрэгддэг хүрээлэн буй орчны чийгшил, температур. Энэ мэдрэгч нь 0°C-аас 50° С хүртэлх температурыг хэмжих боломжтой чийгшил нь 20% -аас 90% хүртэл нарийвчлалтай байна ± 1 °C ба $\pm 1\%$ DHT11-ийн ажиллах хүчдэлийн хүрээ нь 3.5V - 5.5V ба ажиллах гүйдэл нь 0.3mA [5].

4) Батарейны температур хэмжигч

DS18B20 битүүмжлэгдсэн утастай, ус үл нэвтрэх гадаргуутай мэдрүүр. Хол зайд эсвэл нойтон чийгтэй, цастай аль ч нөхцөлд батареийг хэмжихэд тохиромжтой. Мэдрэгч нь PVC-ээр бүрсэн тул 125°C хүртэл температурт ашиглах боломжтой байдаг. Мэдрүүрийн дохио нь тоон учраас хол зайд ч гэсэн дохио унахгүй 1 утастай тоон температур мэдрэгч нь нарийвчлалтай өндөр бөгөөд тоон аналог хувиргуураас 12 бит хүртэлх нарийвчлалыг тооцох боломжтой.

Микропроцессор

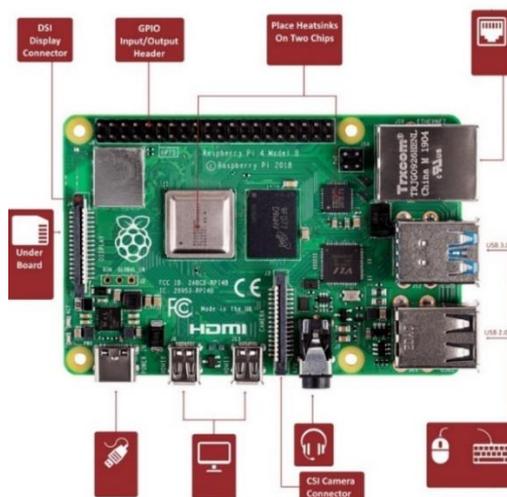
Энэхүү судалгааны ажлын туршилтыг гүйцэтгэх Микропроцессор хувьд “Raspberry pi 4” ашигласан ба энэ нь хямд өртөгтэй, овор хэм зээлийн картын хэмжээтэй микро компьютер бөгөөд компьютерын дэлгэц залгагддаг бөгөөд стандарт гар, хулгана ашигладаг. “Raspberry Pi” нь гадаад ертөнцтэй харилцах чадвартай бөгөөд бодит цагийн хяналт удирдлага, машин сургалт IoT систем зэрэг олон төрлийн дижитал үйлдвэрлэгч төслүүдэд ашиглагдаж ирсэн.

“Raspberry pi” нь 2012 оноос хөгжүүлэгдэж ирсэн бөгөөд 2019 онд “Raspberry Pi 4B” загвар худалдаанд гарсан [6]. “Raspberry pi 4 model B” нь ширээний компьютерын бүрэн хэрэглээг хангах боломжтой.

“Raspberry Pi 4B ”-ийн зарим үзүүлэлт, түүний бүтэц:

- 1.5 ГГц, 64 битийн дөрвөн цөмт Cortex-A72 (ARM v8) процессор.
- Санах ой: 4GB SDRAM.

- Мэдээлэл дамжуулалт: 2.4 GHz ба 5.0 GHz IEEE 802.11ac утасгүй, Bluetooth 5.0, BLE Gigabit Ethernet, 2×USB 3.0 порт; 2×USB 2.0 порт.
- Үндсэн зориулалтын оролт, гаралтын хөл (GPIO): Raspberry Pi стандарт 40 pin GPIO толгойтой.
- Video & Sound: 2×micro-HDMI порт, 2 эгнээ бүхий “MIPI DSI” дэлгэцийн порт, “MIPI CSI” камерын порт, аудио болон нийлмэл видео портууд.
- SD card: Үйлдлийн системийг ачаалах, өгөгдөл хадгалах бичил микро SD карт.
- USB-C холбогчоор 5В DC хүчдэлээр тэжээгдэх боломжтой.
- Ашиглалтын температур: орчны 0~50 градус.

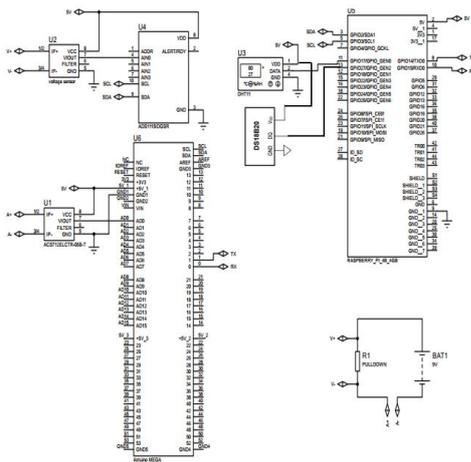


2-р зураг. “Raspberry pi 4B”-ийн бүтэц

III. Туршилт

Бид туршилтандаа дурын батареийг сонгож авч хийсэн ба батареийн төрөл параметрээс хамааруулж удирдлагын кодыг өөрчлөх боломжтой.

Зураг 3т үзүүлсний дагуу төхөөрөмжийн ажиллах цахилгаан схемийг холбож туршсан.



3-р зураг. “Raspberry pi 4B”-ийг Мэдрэгчүүдтэй холбосон цахилгаан схем

Эхлээд батарейны батарейны хүчдэл, гүйдэл, температурыг мэдэрч авсан утгыг дэлгэцэнд графикаар харж хянасан ба мультметр ашиглан төхөөрөмжийн утга, хэмжүүрийн багажны утгатай харьцуулсан. Мөн батарей болон ачааллыг сольж туршиж баталгаажуулсан 4,5-р зургуудад үзүүлэв.

Дараа нь бид уг мэдээллээ өгөгдөл болгон дамжуулахын тулд “Raspberry Pi” аа сүлжээнд холбож бодит цагийн системд үзүүлэх хэсгийн туршилтыг хийсэн. Мөн температурын 2 төрлийн утга хэмжиж байгаа үүнд орчны температур, хэмжим буй батарейны температур юм.

Үүнийг хэрэгжүүлэхийн тулд бид мэдээллийг интернэтээр дамжуулах “IoT” дээр суурилсан системийг боловсруулсан.

Мэдээллийг дамжуулахдаа “ThingSpeak” платформыг ашигласан. “Raspberry pi” өөр дээр нь гүйдэл, хүчдэл, болон температурын график байгуулаад түүнийгээ “ThingSpeak” платформ руу дамжуулна. “ThingSpeak” нь сервер доторх шууд өгөгдлийн урсгалыг нэгтгэх, дүрслэх, дүн шинжилгээ хийх боломжийг олгодог. Өөрөөр хэлбэл Raspberry pi – аас илгээж байгаа утгуудыг хугацааны тухайн агшинд хүлээн авч график болон тоон хэлбэрээр хадгална мөн байршил түүнтэй холбоотой мэдээллийг харуулах зэрэг олон давуу талтай.

IV. ТУРШИЛТЫН ҮР ДҮН

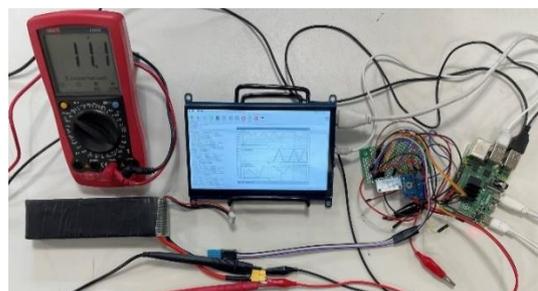
Мэдрэгчүүдээс ирсэн утгуудаа “Raspberry pi 4B” өөр дээр нь боловсруулж тухайн өгөгдлөө “ThingSpeak” дээр график болгон гаргана. Энэ графикийг цахимаар ханаас ч харж хянаж болно.

```

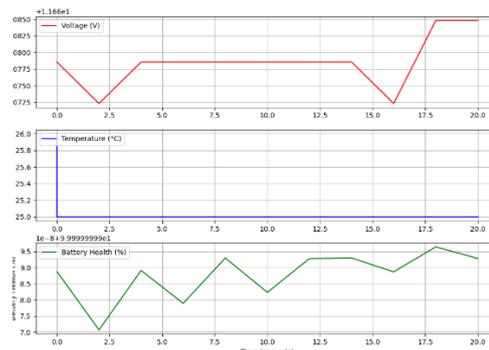
Thonny - /home/bg/monitoring.py @ 117.1
New Load Save Run Debug Over Into Out Stop
monitoring.py * X
116
117
Shell
VOLTAGE: 11.667231855635243
Current: 1.127284481989897
Temperature: 25.0
current_time= 1711261954.3398572
discharge_start_time1 = 1711261954.339958
elapsed_time_h: 1.986821492513821e-10
discharged_ah: 2.2397128786488365e-10
total_discharged_ah: 2.2397128786488365e-10
battery_health_percentage 99.9999998888143
VOLTAGE: 11.666666836561175
Current: 1.1448349131748486
Temperature: 25.0
current_time= 1711261957.2163105
discharge_start_time1 = 1711261957.2163115
elapsed_time_h: 2.649695323586944e-10
discharged_ah: 3.638657538241388e-10
total_discharged_ah: 3.638657538241388e-10
battery_health_percentage 99.9999998484671

```

4-р зураг. “Raspberry pi 4B” кодоо RUN хийж үзсэн байдал

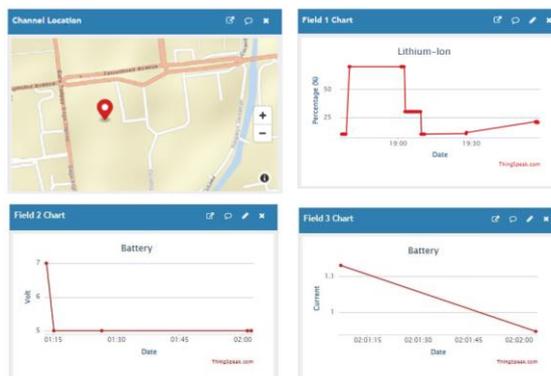


5-р зураг. “Raspberry pi 4B” Мэдрэгчүүдээс ирсэн утгуудаа график байгуулсан байдал “ThingSpeak”



6-р зураг. “Батарейны Хүчдэл, Температур, Батарейны цэнэгийн төлөвийн график

“ThingSpeak” ашиглан Бодит хугацаанд өгөгдөл дамжуулан аван график байгуулсан.



7-р зураг IoT-д суурилсан батарейны параметруудийн үзүүлэлт ба өгөгдөл хяналт

Энэ хүү батареийг хянах системийг (Battery Monitoring System) улам гүнзгийрүүлж судалж хөгжүүлбэл Батарейн менежментийн систем (Battery Management System) болгох боломжтой.

V. ДҮГНЭЛТ

Техник технологи эрчимтэй хөгжиж буй өнөө үед мэдээллийг интернэт суурилсан хяналт, удирдлагыг гүйцэтгэхийг илүүд үзэж байна. Уг батареий хянах системд тулгуурлан нарны цахилгаан станцад , дэд станц, үүрэн телефон зэрэг олон батареий ашигладаг газруудад батареийны АҮК-ыг дээшлүүлэх, мөн батареийны хэт халалтаас болж үүсэх осол аваараас сэргийлэх боломжтой. Бид батареийны гүйдэл, хүчдэл буюу физик параметруудийг Raspberry Pi дамжуулж туршилт хийсэн.

Энэхүү судалгааны ажлаар “Raspberry pi 4B” болон бусад электроникийн эд ангидыг ашиглахын зэрэгцээ тохируулагдсан хэрэглэгч интернэтэд холбогдсон төхөөрөмж ашиглан батареийны параметруудийг хаанаас ч шалгаж болно. Ингэснээр хэт цэнэглэлт үүсэх, орчин нөхцөл, ачааллаас хамаарч халалт үүсэх зэрэг эрсдэлээс урьдчилан сэргийлэх боломжтой.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

- [1] <https://www.ctif.org/news/solar-farm-lithium-ion-battery-fire-took-four-days-extinguish>
- [2] <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=56616>
- [3] <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/real-time-interface>
- [4] <https://embedded-lab.com/blog/a-brief-overview-of-allegro-acs712-current-sensor-part-1>
- [5] <https://components101.com/dht11-temperature-sensor>
- [6] <https://teachablemachine.withgoogle.com/>
- [7] https://thingspeak.com/pages/commercial_learn_more
- [8] Anif Jamaluddin, Louis Sihombing, Agus Supriyanto, Agus Purwanto, M.Nizam, “Design Real Time Battery Monitoring System Using LabVIEW Interface For Arduino (LIFA)”, November 26-28, 2013
- [9] Koko Friansa1, Irsyad Nashirul Haq, Bening Maria Santi, Deddy Kurniadi, Edi Leksono, Brian Yulianto, “Development of Battery Monitoring System in Smart Microgrid Based on Internet of Things (IoT)”, 170 (2017) 482 – 487
- [10] Agbetuyi Ayoade Felix, Orovwode Hope, Olowoleni Joseph, Nwangwu Chukwuebuka, “Design and Implementation of a Solar Energy Measurement and Monitoring System”, 2018
- [11] Mani Dheeraj Mudaliar, N. Sivakumar, “IoT based real time energy monitoring system using Raspberry P”, 12 (2020) 100292
- [12] R. F. Gusa, I. Dinata, W. Sunanda, T. P. Handayani, “Monitoring System for Solar Panel Using Smartphone Based on Microcontroller”, 2018
- [13] <https://www.roypowtech.com/mn/blog/what-is-bms-system/>
- [14] <https://www.lithiumbatterytech.com/mn/why-do-power-lithium-batteries-need-battery-management-system/>

ЦАХИЛГААН ТООЛУУРЫН АШИГЛАЛТЫН СУДАЛГАА

Б.Хувьтөгөлдөр, А.Ариунсолонго, Ө.Баярмаа

Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль,

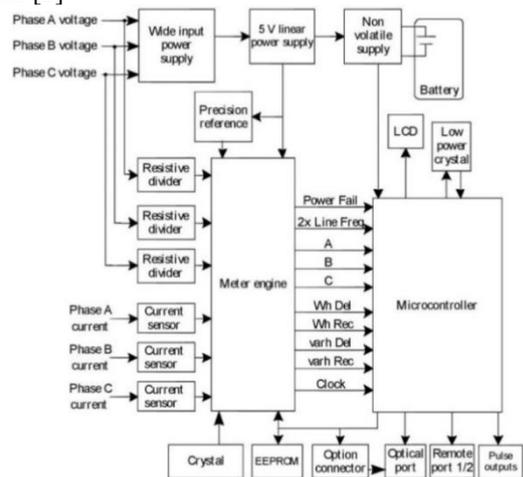
*Холбогдох зохиогчийн и-мэйл хаяг: huvituguldurbatireedui@gmail.com ariunsolongoaltanceceg@gmail.com

Хураангуй - Цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээг тооцохдоо хэрэглэгчийн эзэмшилд суурилуулсан тоолуур, тооцооны хэмжих хэрэгслийг үндэслэн хийдэг. Тооцооны хэмжих хэрэгсэл, тоолуур нь хэрэглэгчийн онцлогоос хамааран олон төрөл байдгаас гурван фазын А1800 төрлийн тоолуур өргөн хэрэглэгддэг.

Тулхуур үг - Альфа тоолуур, эрчим хүчний хэрэглээ, тоолуурын алдаа, нарийвчлал.

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 хэрэглээг тооцоолохын тулд цахилгаан тоолуур ашигладаг. Тоолуурын систем буюу AMR system (Automatic Meter Reading) нь тодорхой төлөвлөлт, зарчимд үндэслэн холбосон хэсэг бүлэг тоолуурын мэдээллийг холбооны ямар нэг систем (шилэн кабель, LAN сүлжээ, GPRS, радио долгион, суурин утасны сүлжээ гэх мэт) төлөв байдал, хэмжсэн буюу тоолж байгаа зүйлийн хэмжээний тухай өгөгдлийг тоолуурын системийн мэдээлэл цуглуулан анхан шатны боловсруулалт хийх завсрын төхөөрөмж болох IED/modem эсвэл RTU ашиглан төв серверт цуглуулан урьдчилан боловсруулсан программ хангамжаар тухайн өгөгдлүүдэд шаардлагатай хувиргалт, боловсруулалтыг хийсний дараа шинжилгээ, дүгнэлт хийж эцсийн тайлан гаргах цогц систем юм [2].



1-р зураг. А1800 тоолуурын ажиллагааны алгоритм.

Ухаалаг тоолуур автомат удирдлага, удирдлага, цахилгаан тоолуурын систем ба бие даасан байдлаар хийгдсэн бөгөөд дараах зорилгоор ашигладаг.

- Олон тарифын горимд актив ба реактив чадал, хүчийг хэмжих;

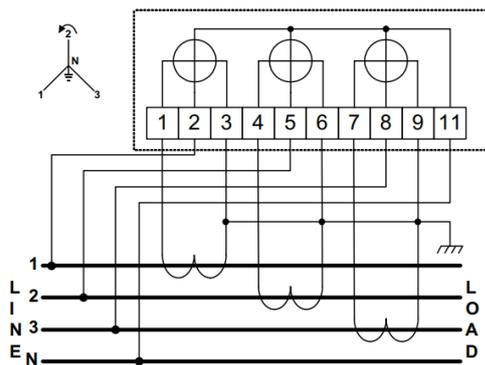
- Цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээ, борлуулалтын бүртгэл;
 - Эрчим хүчний хэрэглээг хянах, удирдах.
- Евро альфа тоолуур нь үйлдвэрлэх, өндөр хүчдэлийн дэд станцууд, түгээх сүлжээнүүд болон үйлдвэрлэлийн хэрэглэгчдэд зориулагдсан байдаг [3].

II. АЛЬФА А1800 ТООЛУУР

0.1S, 0.2S, 0.5S нарийвчлалын ангилалтай олон үйлдэлт Альфа А1800 төрлийн цахилгаан эрчим хүчний тоолуур нь хувьсах гүйдлийн хэлхээн дэх актив, реактив чадал болон цахилгаан шугам, хүчний трансформаторын алдагдлыг тооцох, ачааллын чиглэлд тухайн цахилгаан хэрэглэгчийн түгээлт, сүлжээний параметрийг хэмжиж хадгалах, цахилгаан эрчим хүчний хяналт тооцооны автоматчилагдсан системийн бүрэлдэхүүн хэсэг болж ажилладаг.

Цахилгаан эрчим хүчний хяналт тооцооны автоматчилагдсан системийн альфа А1800 тоолуурын суурь дээр зохиохын тулд импульсын гаралт, RS232, RS485 интерфэйсүүдийг ашиглаж болно. 1-р зурагт хэмжилтийн үр дүн болон шаардлагатай өгөгдлүүд тоолуурын оролтод орсноор аналог дохиог тоон дохионд хувирган микроконтроллер процессорт дүн шинжилгээ хийн мэдээллийг аравтын тоон хэлбэрээр шингэн кристалл дэлгэц дээр дүрслэгдэнэ.

Тоолуурыг сүлжээнд холбохдоо шууд болон гүйдлийн трансформаторын хоёрдогч ороомгоор тэжээдэг (зураг 2).



2-р зураг. Дорвон утастай хэлхээнд гүйдлийн трансформатораар дамжуулан холбох холболт.

Альфа А1800 тоолуур нь:

- Тарифын бүс бүрд хамгийн их чадлын хугацаа, өгөгдлийг тэмдэглэнэ.
- Тоолуурын санах байгууламжид сүлжээний параметр, ачааллын графикийн өгөгдлийг бичиж хадгалдаг.
- Хэмжилтийн үр дүнг тоон болон импульсийн сувгаар дамжуулна.
- Цахилгаан дамжуулах шугам болон хүчний трансформаторын алдагдлыг тооцно.

А1800 ТООЛУУРЫН ҮЗҮҮЛЭЛТ

1-р ХҮСНЭГТ.

Загвар	Тариф	Нарийвчлалын ангилал	Хүчдэл	Хэвийн гүйдэл	Импульсийн тогтмол
Альфа А1800	4 тариф 12 үе	Актив: 0.1S, 0.2S, 0.5S Реактив: 0.2S, 0.5S	3x57/100В 3x220/380В 3x100В 3x380В 3x220В	1(2)А 1(10)А 5(10)А 5(120)А	100-40000имп/кВт*г

III. ТООЛУУРААС ҮҮСЭХ АЛДАА

Тоолуур ажиллах үедээ ашиглалтын хугацаа, орчны нөлөө, механик үйлчлэл, хувьсах соронзон орон зэргээс хамаарч янз бүрийн хэмжилтийн алдаа үүснэ. Үүнд:

- Харьцангуй алдаа
- Хамгийн их зөвшөөрөгдөх алдаа
- Хамгийн их зөвшөөрөгдөх үндсэн алдаа
- Хамгийн их зөвшөөрөгдөх алдааны шилжилт
- Суурь алдаа гэх мэт орно.

Тоолуурын алдаанд гүйдлийн трансформаторын алдаа шууд нөлөөлдөг эдгээр үүсэх алдаануудыг бууруулах арга замыг дурдвал :

1. Хоёрдогч кабелийн хөндлөн огтлолын талбайг нэмэгдүүлэх эсвэл кабелийн уртыг багасгах. Гүйдлийн давталтын хоёрдогч кабелийн хөндлөн огтлолын талбайг нэмэгдүүлэх эсвэл кабелийн уртыг багасгах нь хоёрдогч гогцооны утасны эсэргүүцлийг бууруулж, хоёрдогч ачааллыг бууруулдаг.
2. Ачааллыг хоёр дахин нэмэгдүүлэхийн тулд нөөц гүйдлийн трансформаторын хоёрдогч ороомгийг цувралаар холбоно. Ижил хувиргах харьцаатай, ижил шинж чанартай хоёр фазын гүйдлийн трансформаторын хоёрдогч ороомгуудыг цувралаар ашигладаг.
3. Гүйдлийн трансформаторын хувиргах харьцааг нэмэгдүүлэх эсвэл 1А-ийн хоёрдогч нэрлэсэн гүйдэлтэй гүйдлийн трансформаторыг ашиглана. Шугамын алдагдал нь гүйдлийн квадраттай пропорциональ байх зарчмын дагуу шугамын алдагдал багасаж, гаралтын эсэргүүцэл ихсэх тул ачаалал даах чадвар сайжирч байгааг харж болно.
4. Хоёрдогч ачааллыг багасгах. Тохируулах гүйдэл ихтэй релений ороомгийн утасны диаметр зузаан, эргэлтийн тоо бага тул эсэргүүцэл нь бас бага байдаг тул аль болох их тохируулгын гүйдэлтэй реле сонгох; эсвэл реле ороомгийн цуваа холболтыг зэрэгцээ холболтоор солих, учир нь цуваа холболтын эсэргүүцэл Эсэргүүцэл нь зэрэгцээ холболтоос их; эсвэл цахилгаан соронзон реле солихын тулд микрокомпьютерийн хамгаалалтын төхөөрөмжийг ашиглана.

IV. АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] Эрчим хүчний зохицуулах хороо, “2017-2022 оны статистик судалгаа”.

[2] С.Эрдэнэтуяа, Ө.Баярмаа “Цахилгаан хэмжил”, Улаанбаатар, 2023, х.214-216.

[3] Улаанбаатар цахилгаан түгээх сүлжээ, хэрэглэгчдэд үйлчлэх төв.

15В НАРНЫ ХАВТАН ДЭЭР ХИЙСЭН СУДАЛГАА, НАР ДАГАЖ ХӨДЛӨХ НАРНЫ ХАВТАНГИЙН АШИГТ БАЙДЛЫГ ХАРУУЛСАН ТУРШИЛТ

Б.Чинзориг¹, Б.Хувьтөгөлдөр¹, А.Эрдэнэ¹

Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Цахилгаан инженерийн салбар

*Холбогдох зохиогчийн и-мэйл хаяг: Chinzoochinzoo1209@gmail.com, huvituguldurbatireedui@gmail.com

Хураангуй - Энэхүү өгүүлэлд 8В-ийн хүчдэлтэй хоёр нарны хавтанг нийлүүлсэн 16В-ийн нарны хавтан дээр тусах улайсах чийдэнгийн люкс болон нарны хавтангийн улайсах гэрэлтэй үүсгэх өнцөг хэрхэн нарны хавтангийн гаралтын хүчдэл хэрхэн хамаарч буйг туршилтаар хэмжиж үзэв. Өөрсдийн биетээр хийсэн 3В-ийн solar tracking panel(нар дагаж хөдөлдөг нарны хавтан)-ийг мөн хөдөлгөөнгүй байрлах 3В-ийн нарны хавтан 2.4В-ийн батарейг өглөө, өдөр, орой хэдий хэр хугацаанд цэнэглэж байгаа ашигт байдлыг харуулсан туршилт хийв.

Тулхуур үг - Нарны хавтан, улайсах чийдэн, нар, нар дагаж хөдлөх нарны хавтан, хөдөлгөөнгүй нарны хавтан, Arduino uno

I. УДИРТГАЛ

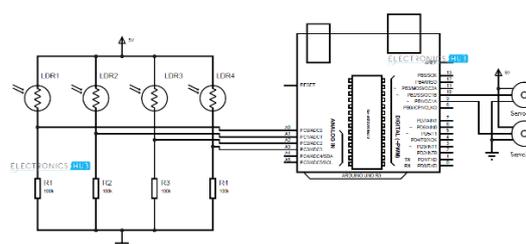
Нарны энерги гэдэг нь нарны гэрлээс гаргаж авсан цахилгаан эсвэл дулааны энерги юм. Нарны зайн хавтангууд нь фотон гэж нэрлэгддэг нарны элементийн тоосонцрыг шингээх хагас дамжуулагч материалаас (цахиур гэх мэт) бүрдсэн фотоволтайк (PV) эсүүдийг агуулдаг. Самбарг шингээх үед фотонууд хагас дамжуулагч материалын атомуудаас электронуудыг ялгаруулж, эсийн доторх электронуудын урсгал нь бидний хэлхээ рүү чиглүүлэх цахилгаан гүйдлийг үүсгэдэг[1]. Нарны хавтанг задгай талбай, дээвэр гэх мэт нарны гэрэл ихтэй хаана ч байрлуулж болно. Самбарууд илүү их гэрэлтэй байх тусам цахилгаан үйлдвэрлэх боломж нэмэгддэг. Монгол орны сэргээгдэх эрчим хүчний нөөц боломжийг судалж мөн эрчим хүчний өнөөгийн нөхцөл байдлыг харилцан авч үзсэний үндсэн дээр Монгол улсад нарны эрчим хүчний станц барихад нарны эрчим хангалттай мөн сэргээгдэх боломжтой дуусашгүй нөөцөө ашиглан цахилгаан эрчим хүч гарган авах нь Монгол улсын хэтийн төлөвт хэрэгтэй гэж үзсэн. Дэлхийн дээр байрлах бүх төрлийн цахилгаан станцын хүчин чадал нь ойролцоогоор 10ТВт гэж үзвэл нарны цацрагийн хэмжээ нь өнөөгийн хүн төрөлхтний хэрэгцээт эрчим хүчнээс хэд дахин илүү эрчим хүч гаргах боломжтой юм[2].

II. ХЭМЖИЛТИЙН АРГАЧЛАЛ

16В-ийн нарны хавтан дээр улайсах гэрэл ашиглан лабораторийн нөхцөлд нэг туршилт мөн 3В-ийн нарны хавтан нарны гэрэл дээр туршилт явуулж лабораторийн орчинд хийсэн хоёр туршилтын үр дүнг мөн нарны гэрэлд хийсэн хоёр туршилтын үр дүнг хооронд нь харьцуулсан.



1-р зураг. Лабораторын нөхцөлд туршилт хийсэн стэндний зураг.



2-р зураг. Arduino ашиглаж өөрсдөө хийсэн нар дагаж хөдлөх нарны хавтангийн схем зураг.

A. Хэмжилтийн төрлүүд

Хэмжилтийг дараах нөхцөлүүдэд гүйцэтгэв.

- Нарны хавтан, улайсах чийдэн перпендикуляр байх үед
- Улайсах чийдэнгийн оролтын хүчдэл тогтмол 220В нарны хавтангийн чийдэнтэй үүсгэх өнцгийг өөрчлөх үед

- Arduino ашигласан solar tracking panel өдрийн турш цонхны тавцан дээр байрласан үед
- Нарны хавтан цонхны тавцан дээр өдрийн турш хөдөлгөөнгүй байрласан үед.

Туршилтаар нарны хавтан нарыг даган хөдлөх болон хөдлөхгүй үед нарны хавтангаас гарах гаралтын хүчдэлийн хамаарамж хэрхэн өөр байгааг харуулахыг зорьсон. Онолоор нар даган хөдөлдөг нарны хавтан нь хөдөлдөггүй нарны хавтангаас 25-35 хувь илүү үр ашигтай байдаг гэсэн тооцоо байдаг[3].

III. ХЭМЖИЛТ ТООЦООНЫ ҮР ДҮН.

Нарны хавтан, улайсах чийдэн перпендикуляр байх үед болон улайсах чийдэнгийн оролтын хүчдэл тогтмол 220В нарны хавтангийн чийдэнтэй үүсэх өнцгийг өөрчлөх үед хооронд нь харьцуулж нар дагаж хөдлөх нарны хавтан хөдлөхгүй байгаа үеэс үр ашгаар илүү болохыг туршилтаар баталсан нь онолын тооцоотой таарч байна.

НАРНЫ ХАВТАН, УЛАЙСАХ ЧИЙДЭН ПЕРПЕНДИКУЛЯР БАЙХ ҮЕД ГЭРЛИЙН ОРОЛТЫН ХҮЧДЭЛИЙГ ӨӨРЧИЛСӨН ТУРШИЛТЫН ҮР ДҮН.

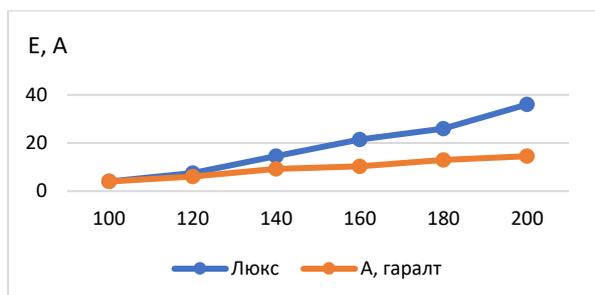
1-р ХҮСНЭГТ.

Өнцөг, а	Люкс, E	Вгарлт	Агарлт
90	34	13	13,8
75	43	15	14
60	49	17	14,5
45	43	16,3	14,3
30	36	15.6	14.1
15	23	13.8	14

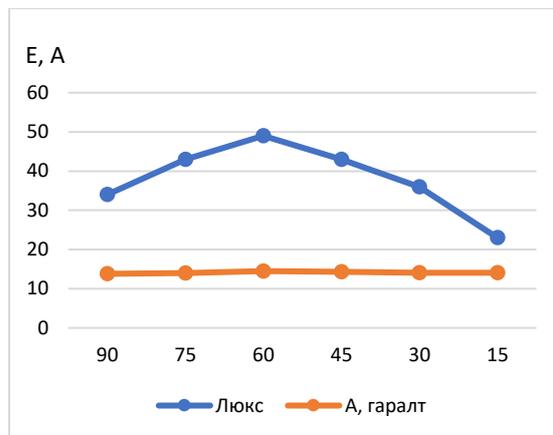
Люкс, E	Аор	Воролт	Вгарлт	Агарлт
4	2,4	100	1,4	4
7,5	2,7	120	2,4	6
14,5	3,0	140	4,3	9,2
21,5	3,4	160	6,7	10,3
26	3,7	180	11,2	13
36	4	200	14,8	14,5

УЛАЙСАХ ЧИЙДЭНГИЙН ОРОЛТЫН ХҮЧДЭЛ НЬ ТОГТМОЛ 220В БАЙХ НАРНЫ ХАВТАНГИЙН ЧИЙДЭНТЭЙ ҮҮСЭХ ӨНЦГИЙГ ӨӨРЧИЛЖ ХЭМЖИЛТ ХИЙСЭН ТУРШИЛТЫН ҮР ДҮН.

2-р ХҮСНЭГТ.



1-р график. Нарны хавтан, улайсах чийдэн перпендикуляр байх үед гэрлийн оролтын хүчдэлийг өөрчилсөн туршилтын үр дүнгээс гарсан график



2-р график. Улайсах чийдэнгийн оролтын хүчдэл нь тогтмол 220В байх нарны хавтангийн чийдэнтэй үүсэх өнцгийг өөрчилж хэмжилт хийсэн туршилтын үр дүнгээс гарсан график.

Эдгээр графикуудаас бид нарны хавтанг илүү үр ашигтай байлгахын тулд бид нарыг дагаж хөдөлдөг нарны хавтан суурилуулсан нь илүү үр ашигтай байх юм.

НАР ДАГАЖ ХӨДӨЛДӨГ БОЛОН ХӨДӨЛДӨГГҮЙ НАРНЫ ХАВТАН БҮТЭН ӨДРИЙН ТУРШ ГАРГАСАН ХҮЧДЭЛ

3-р ХҮСНЭГТ.

T, цаг	U,В(хөдлөх)	U,В(үл хөдлөх)
07:00	3,32	1,8
08:00	3,4	2
09:00	3,48	2,9
10:00	3,52	2,7
11:00	3,54	3
12:00	3,55	3,3
13:00	3,57	3,55
14:00	3,56	3,32
15:00	3,52	3
16:00	3,47	2,71
17:00	3,4	2,3
18:00	3,31	2,1
19:00	2,8	1,81

Энэхүү туршилтад хэлхээнд гэрэл буюу хэрэглэгч холбон гүйдлийг гаргаж авснаар хоёр өөр ажиллах зарчимтай нарны хавтангуудын ашигтай байдлыг харьцуулах боломж олдсон. Доорх томъёогоор олсон.

$P=IV$ (1)

$W=Pt$ (2)

$n=(w1-w2)/w1 \times 100\%$ (3)

(1)-р томъёогоор хүчийг олон олсон хүчээ ашиглан (2)-р ажлыг олсон. Хөдөлгөөнтэй болон хөдөлгөөнгүй үеийн ажлыг олсноор аль илүү их

ажил гүйцэтгэж байгааг мэдэх боломжтой болж (3)-р томъёогоор ашигт үйлийн коэффициентыг олж гаргав. Тооцооны үр дүн (2)-с нар дагаж хөдөлдөг $W1=5332.8\text{Вт.цаг}$, Хөдөлдөггүй $W2=4066,8\text{Вт.цаг}$ гарч (3)-г орлуулан тооцоолоход 23,73%-ийн илүү үр ашигтай ажил хийж байна.

IV. ДҮГНЭЛТ

Монгол Улс нарны эрчим хүчний асар их нөөцтэй. Говийн бүсэд жилийн дундаж нартай өдрийн тоо 270-300 хоног, нарны цацрагийн жилийн дундаж хэмжээ 2200-3300 цаг байна гэсэн тооцоо байдаг. Үүнээс үзэхэд цацрагийн жилийн тунг 1200 – 1600 кВт.ц / м² гэж тооцдог. Өдөрт 4.3-5.3 кВт * ц / м² эрчимтэй байна[4]. Хэрэв энэхүү нөөц бололцоогоо ашиглаж чадвал бид эрчим хүчний хараат байдлаа хараат бус болгох боломжтой. Хичээлийн хүрээнд хийсэн туршилтаа илүү гүнзгийрүүлэн өөрсдийн биеэр туршилт хийх модуль хийж түүнээрээ туршилт хийж үр ашигтай байдлыг нь бататгах гэж зорилоо.

V. АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1,2] “Нарны эрчим хүч” их сургуулийн үндсэн сурах бичиг, ШУТИС, Улаанбаатар хот, 2022 он.

[3] Jacob Marsh “Is solar tracking system worth” EnergySage, Inc. licensed by U.S. Department of Energy, December 6, 2023

[4] “Photovoltaic power potential Mongolia”, Clean source development 2024

2-р хэсэг

**МАГИСТР ОЮУТНУУДЫН
ИЛТГЭЛҮҮД**

МОД ХАТААХ ҮЙЛДВЭРИЙН ТӨСӨЛ

Х.Ангараг-Од, Х.Доржсамбуу, Д. Намнандорж, Э.Мөнхтэнгэр, П.Бямбацогт

Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Дулааны инженерийн салбар

Хураангуй – Модыг байгалийн аргаар хатаахад цаг хугацаа болон эдийн засгийн хувьд алдагдал хүлээдэг ба үүнийг албадмал хатаалгын аргаар буюу хатаалгын төхөөрөмжийн тусламжтай хатаах нь үр ашигтай байдаг. Иймээс хамгийн их хэмжээний мод хатаах боломжийн технологийг судлан Монгол улсын мод бэлтгэлийн зах зээлийн судалгааг нарийвчлан хийж бүс нутагт жилийн дөрвөн улиралд ажиллах боломжтой мод хатаах үйлдвэрийг төлөвлөн тооцоо хийсэн болно.

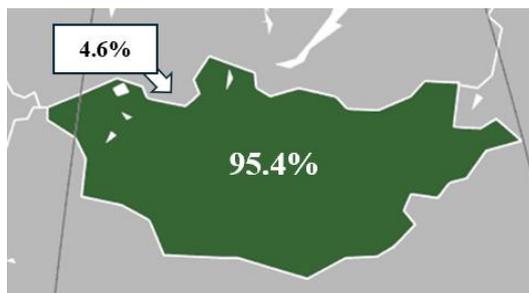
Түлхүүр үг – мод хатаах, мод хатаах төрлүүд, мод хатаагуурын төрөл, хонгил хатаагуур, хонгил хатаагуурын тооцоо

I. УДИРТГАЛ

Модыг маш олон төрлийн салбарт туслах болон үндсэн материалаар ашигладаг ба чийгшлийн хэмжээг тогтвортой хэмжээнд бариагүйн улмаас хэв гажилтанд орох, сэнсрэх, цуурах гэх мэт асуудлууд тулгардаг. Мөн байгалийн буюу атмосферийн орчинд хатаах нь цаг хугацааны хувьд алдагдалтай ба хамгийн халуун зуны үед хатаахад дор хаяж 10-15 хоног зарцуулдаг. [1] Иймд модыг хатаалгын төхөөрөмжийн тусламжтайгаар хурдан, үр ашигтай хатаах нь чухал юм.

II. СУДАЛГААНЫ ХЭСЭГ

Монгол орны өнөөгийн модны эрэлт нь 6.5сая шоо метр байгаагаас 6.2сая -г дотоодоосоо хангаж үлдсэн 324540 шоо метр модыг импортоор оруулж ирж байна. Үүнээс үйлдвэрлэлд ашиглах боломжтой зүсмэл мод болон модон эдлэлүүд 29.74 хувь буюу 96518.196 шоо метр мод эзэлж байна. [2] Иймд гаднаас орж ирдэг бүтээгдэхүүний 50% буюу 50000 шоо метр бүтээгдэхүүнийг хатаах боломжтой зүсмэл модыг хатаах хүчин чадалтайгаар үйлдвэрийн хүчин чадлыг төлөвлөж байна.



2-р зураг. Дотоодын болон импортын хангамжийг хувиар илэрхийлсэн байдал

Мод хатаах үйлдвэрийн байршил сонголт

Монгол улсын ойн сангийн дийлэнх хувийг нутгийн хойд хэсгээр буюу Хөвсгөл, Сэлэнгэ, Булган, Хэнтий аймгууд эзэлдэг. Сэлэнгэ аймаг нь байгалийн ойн талбайн хэмжээгээрээ улсын хэмжээнд хоёр дугаарт жагсах бөгөөд харин нийт ойгоос ашиглалтын ойн эзлэх хувир нэгт буюу 28

хувийг эзэлж байгаа тул уг судалгааны ажлаар Сэлэнгэ Сүхбаатар суманд мод хатаах үйлдвэр барихаар төлөвлөсөн. [3]

Бүтээгдэхүүний судалгаа

Монгол орны ойн 1 га талбайн нийт ургаа нөөц 113.9 м³ бөгөөд түүний 91.9 м³ (80.7%) нь шинэс, 7.6 м³ (6.7%) нь хуш, 7.3 м³ (6.4%) нь хус, 5.6 м³ (4.9%) нь нарс тус тус эзэлж байна. Үлдсэн 2%-г болон үйлдвэрлэлд ашиглагдах боломжоос нь үндэслэн шинэс модыг сонгож авсан. [2]



1-р зураг. Байгалийн нийт ойгоос ашиглалтын ойн эзлэх хувь, %

Модны эхний ба эцсийн чийглэг

ШИЛМҮҮСТ ТӨРЛИЙН ЗҮСМЭЛ МАТЕРИАЛЫГ ЗҮССЭНИЙ ДАРААХ ҮЕИЙН ЧИЙГЛЭГ [3]

1-р ХҮСНЭГТ

Шинэс мод	35мм хүртэл	Зузаан
Дөнгөж огтолсон	70-90	50-70
Салаар урсгасан	90-100	60-80

ДӨНГӨЖ ОГТОЛСОН ТӨРӨЛ БҮРИЙН МОДНЫ ЧИЙГЛЭГ

2-р ХҮСНЭГТ

Мод	Хөгширсөн модлог буюу ургаагаар хатсан мод	Залуу модлог	дундаж
Нарс, гацуур	30-40	100-200	60-100
Шинэс	30-40	100-200	50-70

Хус		70-90	
Улиас		8-100	80-100
Яшил	35-40	35-40	35-40
Царс	50-80	70-80	60-80

Төрөл бүрийг модыг тайрч авсаны дараах хэмжилтийн үр дүнд гаргаж авсан үр дүнг үзүүлэв

МОДНЫ АШИГЛАЛТЫН ЧИЙГЛЭГ [3]

3-Р ХҮСНЭГТ

Эзлэхүүн ба материалын нэр	Чийглэг %-аас хэтрэхгүй
Барилгын материалд	12
Сараалжин жааз, хөндлөн савх мод	10
Цонхны хайрцаг ба гадна хаалга	18
Чийглэг хүрээ, хөвөө мод, шатны түшүүргэ	15
Цэвэр шалны банз	12
Мужаан хавтан	2-8
Зорогдсон хавтан	10
Хүнсний бараа савлах хайрцаг	18
Эрдэс тос савлах торхны мод	9
Шингэн тосны торхны мод	18
Гэр ахуйн мебель	10

Модоор хийх боломжтой бүтээгдэхүүний тохиромжтой чийгийн хэмжээг уг хүснэгтэд харуулав.

Уг үзүүлэлтүүдээс үзэхэд хатаах бүтээгдэхүүний эхний чийглэг 50-70%, хатаасны дараах чийглэгийг дунджаар 10-12% гэж үзэв.

Мод хатаах аргууд [3]



3-р зураг. Модыг хатаах аргууд

Атмосферийн байгалийн хатаалга. Энэ нь мод хатаалгын хамгийн эртний хамгийн энгийн арга юм. Тэр нь саравчин доор, ил агаарт явагдана. Зүсмэл материалыг тусгай суурин дээр цохих завсартайгаар хурааж дээр нь ус бороо, нарны цацрагаас хамгаалсан дээвэр хийдэг. Байгалийн аргаар модлогийг 18-22%-ийн чийглэгтэй болтол хатааж болно. Хатаах хугацаа нь агаарын хэм ба чийглэг, жилийн улирал, материалын төрөл ба зузаан, эхний ба эцсийн чийглэг, хураах арга зэргээс хамаарна.

Атмосферийн хатаалгын давуу тал нь агаар ба материал халаахад орох эрчим хүчний зардал хэмнэх, хэрэгжүүлэхэд энгийн байдаг явдал юм.

Харин дутагдалтай тал нь материалыг 18-22%-аас доош чийглэгтэй болтол хатаах боломжгүй, хугацаа их шаарддаг (8-70 хоног), Хатаах ажиллагааг (температур, чийглэгийг) тохируулах боломж хомс байдаг явдал юм.

Камерын (зориудын) хатаалга. Энэ нь модлогийг хатаах илүү түгээмэл арга болно. Зориудын хатаалгын дулааны эх үүсвэр нь уурын зуухнаас өндөр температуртай уур буюу тусгай зууханд шатаасан түлшнээс гардаг хий (халуун утаа) юм. Материал хатаах орчных нь төрлөөр камерыг уур агаарын ба хийн гэж ялгана.

Дулааныг шууд хатаах материалд хүргэхийн тулд, уурын ердийн буюу албадмал хөдөлгөөн (сэлгэлт)-ийг ашигладаг. Сэлгэлт хийх аргаар нь камерыг ердийн ба албадмал сэлгэлттэй гэж ялгана. Ердийн сэлгэлттэй камерт агаарын өөр өөр халаасан хэсгүүдийн хувийн жингийн ялгаврын улмаас хатаах материалаар дайрч өнгөрөх уурын хөдөлгөөн явагддаг. Харин албадмал сэлгэлттэй камерт уурын хөдөлгөөний шууд сэнсээр гүйцэтгэж дулаан солилцох эрчим нэмэгддэг давуу талтай.

Хатаах камерыг ажлын горимоос нь хамааруулан үечилсэн ба тасралтгүй ажиллагаатай гэж ялгадаг. Үечилсэн ажиллагаатай камерт хатаах материал оруулах, хуурай материал гаргах ажлыг зөвхөн камерын нэг талаас хийнэ. Харин тасралтгүй ажиллагаатай камерт хатаах материалыг нэг талд (нойтон тал гэдэг) нь ачаалж хуурай материалаа нөгөө талаар (хуурай тал гэдэг) нь гаргадаг. Хатаах агентын (уурын) хэм ба чийглэг камерын нойтон талаас хуурай тал руу өөрчлөгддөг. Өөрөөр хэлбэл хэм нь нэмэгдэж байхад, харьцангуй чийглэг нь багасаж байдаг. Камерын хатаалга нь камераа хатаалганд бэлтгэх, хатаах материалаа хурааж камерт ачаалах, хатаах, хатаасан материалаа камераас гаргах, сэрүүн өрөөнд хөргөж тайвшруулах, хатаасан материалын чийглэг хянаж шалгах гэсэн үндсэн үе шатуудаас бүрдэнэ.

Камерын хатаалгын давуу тал нь материалыг шаардлагатай чийглэгтэй (18-20%- иас доош) болтол нь хатаах, хатаалгын ажиллагааг байнга хянаж тохируулах, модлогийг хатаалганд бэлтгэх хугацаа хэмнэх, үйлдвэрлэлийн талбай багасгах зэрэг боломжтой байдагт оршино.

Камерын хатаалгын үндсэн дутагдал нь заавал байнгын барилга байгууламж зайлшгүй шаарддаг явдал юм.

Контактын хатаалга. Ийм хатаалгын мөн чанар нь хуудас хэлбэрийн хавтгай материал (жишээ нь хуулгыг)-ыг 150°C хүртэл халаасан хоёр металл хавтангийн хооронд шахаж хатаахад оршино. Ийм нөхцөлд хатаалга ердөө хэдхэн минут явагддаг давуу чанартай. Харин хатаалгыг удаан үргэлжлүүлэхэд модлогийн гадаргуу бараантах тохиолдол гардаг.

Шингэн доторх хатаалга. Ийм хатаалга, жишээ нь петролатум дотор явагдана. Петролатум гэдэг нь

56°C-д хайлж, 250°C-д асах хэмтэй, нефть гүн боловсруулах үед гардаг сүрлэн шар өнгийн өтгөрсөн тос маягийн бүтээгдэхүүн юм. Хатаалга тусгай онгоц дотор явагдана. Уг онгоц дотор труба хоолойгоор хийсэн халаагуур байрлуулна. Зүсмэл материалыг металл чингэлэгт хийж онгоц дотор булхуулна. Хэрэв нойтон модлогийг 100°C-ээс дээш халаасан петролатум дотор хийхэд, модлогт агуулагдах чийг хурдан халж буцлан уур болж агаарт дэгдэнэ. Петролатумын хатаалга камерын хатаалгаас 5-7 дахин хурдан явагдана. Энэ аргын дутагдалтай тал нь петролатум модлогт нэвчин орж боловсруулахад хүндрэл учруулдаг ба нааж өнгөлөх боломжгүй болгодог явдал юм.

Өндөр давтамжийн цахилгаан гүйдлийн орон доторх хатаалга. Ийм хатаалга нь өндөр давтамжийн гүйдлийн үүсгүүрт залгасан хоёр буюу хэд хэдэн металл ялтаснуудын хооронд модлогийг халаахад үндэслэгдэнэ. Ялтаснуудын хоронд байрлуулсан модлог нь конденсатор үүсгэх бөгөөд диэлектрикийн үүргийг давхар гүйцэтгэнэ. Цахилгаан орон цэнэг үе үе өөрчилдөг бөгөөд түүний улмаас зүсмэл материалд диэлектрик алдагдал үүсэж модлог халснаар чийг ууршдаг. Энэхүү арга нь хатаалгын үлэмж хурдтай хатаах боловч өндөр үнэтэй учраас хязгаарлагдмал хэрэглээтэй. Модлог хатаах аль ч аргын үед цав ба гажилт үүсэж болно. Тэдгээрийн үндсэн шалтаан бол модлог захаасаа төвийн чиглэл рүү хатдаг явдлаар тайлбарлагдана.

Овор ихтэй материал хатаах төхөөрөмжүүдийн төрлүүд [4]



4-р зураг. Овор ихтэй материалын конвекцийн хатаагуурууд

Камер хатаагуур

Энэ нь их биш хэмжээний материалыг хатаах үечилсэн ажиллагаатай төхөөрөмж юм. Материалыг тусгай тэргэнцэр дээр өрж тэгш өнцөгт камерт оруулан хөдөлгөөнгүй байдалд хатаах бөгөөд зөвхөн ганц хаалгаар тэргэнцрийг оруулж гаргана. Хатаалгын ажлын биеийн температур 60-250°C байна. Нэг кг чийгийг ууршуулахад дунджаар 5900-10000 кДж дулаан зарцуулдаг.

Хонгил хатаагуур

Энэ нь их хэмжээний материалыг хатаахад хэрэглэгдэх тасралтгүй ажиллагаатай төхөөрөмж юм. Материалыг тэргэнцэр дээр өрж урт хонгил дундуур нэг талаас нь гаргах замаар хатаана. Хонгил дундуур материалын хурд уг материалын хатаалгын процессын үргэлжлэх хугацаагаар тодорхойлогдоно. Ашиглагдаад гарч буй хатаалгын ажлын биеийн тодорхой хэсгийг эргүүлэн гадна агаартай хольж дахин ашиглах схемийг хонгил хатаагуурт өргөн хэргэлдэг. Хатаалгын ажлын биеийн температур 60-300°C-ийн хооронд хэлбэлзэнэ. Нэг кг чийгийг ууршуулахад дунджаар 5000-8000кДж дулаан зарцуулна.

Туузан дамжлагат хатаагуур

Энэ хатаагуур нь хөвөн, ноос, маалинга, хүнсний болон жимсний ногоо, цай, чүдэнз зэрэг материалыг хатаахад хэрэглэнэ.

Материал туузан дээр тээвэрлэгдэн хатаагуур руу орж хатаагдан нөгөө талаар гадагш гарна. Туузан дамжлагат хатаагуурт чийглэг материалын төрлөөс хамааруулан 70-170°C температуртай агаарыг хэрэглэнэ. Нэг кг чийгийг ууршуулахад дунджаар 5000-6000 кДж дулаан, 50кВт/цаг цахилгаан эрчим хүч шаардана.

Конвейер хатаагуур

Энэ хатаагуур нь метал болон модон эдлэл, гутал арьс зэрэг материалын будгийг хатаахад хэрэглэгдэх тасралтгүй ажиллагаатай хатаагуур юм. материалыг конвейер дээр байрлуулан хатаагуур руу оруулахын өмнө тусгай аппаратаар урьдчилан будна. Энэ хатаагуурын онцлог нь хатаалгын ажлын бие маш цэвэр байх шаардлагатай байдагт оршино. Агаарын температур 20-300°C-ийн хооронд хэлбэлзэх бөгөөд түүний цэвэрлэгээг тусгай шүүлтүүрээр гүйцэтгэнэ. Конвейерын хатаагуурт түүний онцлогоос шалтгаалж нягт хаалга хийх боломжгүй тул агаарын хөшиг хэрэглэнэ. Нэг кг чийгийг ууршуулахад дунджаар 5000-8400кДж дулаан зарцуулагдана.

Уг хатаах төхөөрөмжүүд дундаас камер болон хонгил хатаагуур нь их хэмжээний мод хатаахад хамгийн тохиромжтой. Мод боловсруулах үйлдвэрүүдэд зүсмэл материалыг камерт хатаахад ихээхэн хэмжээний уур ба цахилгааны энерги зарцуулдаг тул хонгил хатаагуурыг сонгож авсан.



5-р зураг. Хонгил хатаагуурын харагдах байдал

Ш. ОНОЛЫН ХЭСЭГ

Хонгил хатаагуурын тооцоог хамгийн их энергийн зарцуулалттай үед буюу өвлийн улирлын

дулаацуулгын гадна агаарын температур (-35°C)-т бодсон болно.

1. Модон доторх мөсийг хайлуулж, модыг халаахад зарцуулагдах дулаан: [1] [5]

$$q_{л} = [c_{л} \cdot (0 - t_0) + \gamma_{л}] \cdot \frac{W_{н}-W_{ж}}{100} \cdot \frac{\rho_{Б}}{100} \quad (1.1)$$

Энд: $c_{л}$ -мөсний хувийн дулаан багтаамж, кДж/кг; t_0 -агаарын температур, °C; $\gamma_{л}$ -мөс хайлахад зарцуулах дулаан, кДж/кг; $W_{н}$ - модны анхны чийглэг, %; $\rho_{Б}$ -модны нягт, кг/м³;

$$q_{л} = (2.22(0 - (-35)) + 335) \cdot \frac{60 - 12}{100} \cdot \frac{880}{3600} = 48.42 \text{ кВт. ц/м}^3$$

2. Модон доторх чийгийг халаахад зарцуулах дулаан:

$$q_{ж} = c_{ж} \cdot \frac{W_{н} \cdot (t_{м}-0) + W_{ж} \cdot (0-t_0)}{100} \cdot \frac{\rho_{Б}}{100} \quad (1.2)$$

Энд: $c_{ж}$ - модон доторх чийгийн хувийн дулаан багтаамж, кДж/кг·°C; $t_{м}$ - нойтон термометрийн температур, °C;

$$q_{ж} = 4.19 \cdot \frac{60 \cdot (66 - 0) + 12(0 - (-35))}{100} \cdot \frac{880}{3600} = 44.86 \text{ кВт. ц/м}^3$$

3. Хуурай модыг хатаахад зарцуулах дулаан:

$$q_{д} = c_{д} \cdot (t_{ш} - t_0) \cdot \frac{\rho_{Б}}{100} \quad (1.3)$$

Энд: $c_{д}$ - хуурай модны хувийн дулаан багтаамж, кДж/кг·°C;

$$q_{д} = 1.65 \cdot (91 - (-35)) \cdot \frac{880}{3600} = 50.82 \text{ кВт. ц/м}^3$$

4. Дулаан-чийглэгийн боловсруулалт хийхэд зарцуулах дулаан:

$$q_{ВТО} = q_{п} \cdot \frac{W_{н}-W_{ж}}{100} \cdot K \cdot \frac{\rho_{Б}}{100} \quad (1.4)$$

Энд: K -дулаан-чийгийн боловсруулалтанд алдагдах дулааныг тооцсон коэффициент, кВт/м²·°C

$$q_{ВТО} = 2150 \cdot \frac{16 - 12}{100} \cdot 3 \cdot \frac{880}{3600} = 63.06 \text{ кВт. ц/м}^3$$

5. Камерт оруулж байгаа агаарыг халаах энерги зарцуулалт:

$$q_{В} = c_{В} \cdot (t_{СР} - t_0) \cdot \frac{1000}{d_{СР}-d_0} \cdot \frac{W_{н}-W_{ж}}{100} \cdot \frac{\rho_{Б}}{100} \quad (1.5)$$

Энд: $t_{СР}$ - камерын дундаж температур, °C; $c_{В}$ -агаарын хувийн дулаан багтаамж, кДж/кг·°C; d_0 -агаарын чийг агууламж, г/кг; $d_{СР}$ -ажилласан агаарын чийглэг агууламж, г/кг;

$$q_{В} = 1 \cdot (80 - (-35)) \cdot \frac{1000}{255 - 0} \cdot \frac{60 - 12}{100} \cdot \frac{880}{3600} = 52.91 \text{ кВт. } \frac{\text{ц}}{\text{м}^3}$$

6. Хатаах үед модноос чийг ууршуулах дулааны зарцуулалт:

$$q_{исп} = (r_0 + c_{п} \cdot t_{СР} - c_{ж} \cdot t_{м}) \cdot \frac{W_{н}-W_{ж}}{100} \cdot \frac{\rho_{Б}}{100} \quad (1.6)$$

Энд: r_0 -0°C уур үүсгэхэд зарцуулах нуугдмал дулаан, кДж/кг; $c_{д}$ - уурийн хувийн дулаан багтаамж, кДж/кг·°C;

$$q_{исп} = (2490 + 1.93 \cdot 80 - 4.19 \cdot 66) \cdot \frac{60 - 12}{100} \cdot \frac{880}{3600} = 277.82 \text{ кВт. } \frac{\text{ц}}{\text{м}^3}$$

7. Камерын хаалтуудаар алдах дулааны алдагдал:

$$q_{ОПР} = K_{ОПР} \cdot (t_{СР} - t_0) \cdot \frac{F}{E} \cdot \tau \quad (1.7)$$

Энд: $K_{ОПР}$ - камерын хаалтуудын дулаан дамжуулалтын коэффициент, кВт/м²·°C

$$q_{ОПР} = 0.001 \cdot (80 - (-35)) \cdot 5 \cdot 69 = 39.67 \text{ кВт. ц/м}^3$$

8. Хатаалганд зарцуулсан дулааны нийлбэр:

$$q = \Sigma q_i \quad (1.8)$$

$$q = 48.42 + 44.86 + 50.82 + 63.06 + 52.91 + 277.82 + 39.67 = 577.56 \text{ кВт. } \frac{\text{ц}}{\text{м}^3}$$

1м³ зүсмэл материалыг жиших материалд шилжүүлсэн тооцоо

1. Штабель дүүргэлтийн коэффициентууд:

$$\beta_{\theta} = \frac{S}{(25+S)} \cdot \frac{(100-Y_0)}{100} \quad (1.9)$$

Энд: S -банзны зузаан, мм;

$$\beta_{\theta} = \frac{40}{25 + 40} \cdot \frac{100 - 7}{100} = 0.57$$

штабелийн дүүргэлтийн эзлэхүүний коэффициент (бодит материалаар)

$$\beta_{\phi} = \beta_{ш} \cdot \beta_{\theta} \cdot \beta_{\gamma} \quad (1.10)$$

Энд: β_{ϕ} - штабель дүүргэлтийн эзлэхүүний коэффициент, $\beta_{ш}$ - штабель дүүргэлтийн өргөний коэффициент, β_{θ} - штабель дүүргэлтийн өндрийн коэффициент, β_{γ} - штабель дүүргэлтийн ургийн коэффициент,

$$\beta_{\phi} = 0.9 \cdot 0.57 \cdot 0.85 = 0.43$$

2. Бодит материалыг хатаахад зарцуулах хугацаа: [5]

$$\tau_{СУШ, \phi} = \tau_{ИХС} \cdot A_{ц} \cdot A_{В} \cdot A_{р} \cdot A_{к} \quad (1.11)$$

Энд: $\tau_{ИХС}$ - жиших материалын хатах хугацаа, цагаар; $A_{ц}$ - агаар сэлгэлтийн эрчмийг тооцсон коэффициент; $A_{В}$ - модны чийглэгийг тооцсон коэффициент; $A_{р}$ - хатаалгын горимыг тооцсон коэффициент; $A_{к}$ - модны хатаалгын чанарын категорийг тооцсон коэффициент;

$$\tau_{СУШ, \phi} = 32 \cdot 2.3 \cdot 0.82 \cdot 1 \cdot 1.15 = 69.4 \text{ цаг } 2.89 \text{хон}$$

3. Бодит материалын камер эргэлтийн хугацаа:

$$\tau_{ОБ, \phi} = \tau_{СУШ, \phi} + \tau_{ЗАГ} \quad (1.12)$$

Энд: $\tau_{СУШ, \phi}$ -бодит материалыг хатаахад зарцуулагдах хугацаа, $\tau_{ОБ, \phi}$ -бодит материалыг хатаах хугацаа, хоногоор; $\tau_{СУШ, \phi}$ -камерыг ачаалах, суллахад зарцуулагдах хугацаа;

$$\tau_{ОБ, \phi} = 2.89 + 1.1 = 3.99 \text{хон}$$

4. Жиших материалыг хатаахад камер эргэлтийн хугацаа: [5]

$$\tau_{СУШ, УСЛ} = \tau_{ИХС} \cdot A_{ц} \cdot A_{В} \cdot A_{р} \cdot A_{к} \quad (1.13)$$

Энд: $\tau_{ИХС}$ - жиших материалын хатах хугацаа, хоногоор;

$$\tau_{СУШ, УСЛ} = 32 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 32 \text{цаг } 1.33 \text{хон}$$

5. Жиших материалын камер эргэлтийн хугацаа:

$$\tau_{об,усл} = \tau_{суш,ф} + \tau_{заг} \quad (1.14)$$

$$\tau_{об,усл} = 1.33 + 1.1 = 2.44 \text{хон}$$

6.Штабель дүүргэлтийн эзлэхүүний коэффициент (жиших материалын)

$$\beta_{усл} = \beta_{ш} \cdot \beta_{в} \cdot \beta_{у} \quad (1.15)$$

Энд: $\beta_{усл}$ - штабель дүүргэлтийн эзлэхүүний коэффициент

$$\beta_{усл} = 0.9 \cdot 0.57 \cdot 0.85 = 0.43$$

7.У-1м³ шинэс модыг жиших материалд шилжүүлсэн эзлэхүүн:

$$у = \Phi \cdot \frac{\tau_{об,ф} \cdot \beta_{усл}}{\tau_{об,усл} \cdot \beta_{ф}} \quad (1.16)$$

Энд: Φ - бодит хатаах модны хэмжээ, м³; $\tau_{об,усл}$ - жиших материалыг хатаахад зарцуулах хугацаа, хоноогоор;

$$у = \frac{1 \cdot 3.99 \cdot 0.43}{2.44 \cdot 0.43} = 1.63 \text{м}^3$$

8. Э-1м³ шинэс модыг хатаахад зарцуулах энерги:

$$\mathcal{E} = q \cdot Y \quad (1.17)$$

$$300 \cdot 1.63 = 489 \text{кВт.ц/м}^3$$

Орчин үеийн хатаалгын камеруудад зарцуулах энергийн 80% орчмыг клариферт, 20% орчмыг вентиляторт зарцуулдаг гэж үзвэл:

$$\text{-Уурнаас- } 391.2 \text{кВт.цаг/м}^3$$

-Цахилгаанаас- 106.3кВт.цаг/м³ энергитэй тэнцэх зардал гарна.

$$1 \text{кВт.цаг/м}^3 \text{жиш} = 3600/1000 \cdot (i_{п-}$$

$$I_{к}) = 3600/1000 \cdot 500 = 0.0072 \text{т/м}^3$$

Үүнийг дулааны энергид шилжүүлбэл

$$Q = 391.2 \cdot 0.0072 \cdot 0.7 = 1.97 \text{Гкал/м}^3$$

1м³ модыг хатаахад ууранд зарцуулагдах зардал (мөнгөн дүнгээр)

$$1.97 \cdot 8408 = 16563.76 \text{төг}$$

1м³ модыг хатаахад цахилгаан энергид зарцуулах зардал(мөнгөн дүнгээр)

$$97.8 \cdot 168 = 16430.4 \text{төг}$$

Тооцоонд 1Гкал уурын үнийг 8408 төгрөгөөр, 1кВт/ц-ийн үнийг 168 төгрөгөөр авав.

Нэг куб.м модыг хатаахад зарцуулах уур ба цахилгааны зардал

$$97.8 \cdot 168 = 16430.4 \text{төг}$$

IV. Дүгнэлт

Мод нь барилга, үйлдвэр, жижиг эдлэл, түлээ гэх мэт маш олон салбарт ашиглагддаг. Модны чийгшлийн хэмжээ их байвал дараа нь хэв гажилтанд орох, төрөл бүрийн амьд биет үржих сөрөг нөлөөтэй тул чийгийн хэмжээг тохиромжтой хэмжээ буюу 10-12%-ийн чийгшилтэй болгох шаардлагатай байдаг. Манай орны хувьд Шинэс мод нь хамгийн их тархацтай байдаг ба бидний төлөвлөж буй үйлдвэр Сэлэнгэ аймгийн Сүхбаатар суманд байрлах ба импортоор орж ирж буй модны 50%-ийг буюу 50000м³-ийг хангахаар төлөвлөсөн. Тооцооны үр дүнд нэг камер 60%-ийн чийгшилтэй хөлдүү модыг байгалийн хатаалгаас 4-5 дахин богино хугацаанд буюу 4 өдөрт хатаан 12%-ийн чийгшилтэй болтол хатааж байна. Нэг удаадаа 200м³-ийн хүчин чадалтай 3 хонгил хатаагуураар 600м³ хатаана гэж үзвэл жилд

хамгийн дээд талдаа 73000м³ мод хатаана. Замын зардлыг тооцохгүйгээр зөвхөн дулааны болон цахилгааны нийт зардлыг мөнгөн дүнгээр тооцож үзвэл жилд 1999032.01 төгрөг зарцуулж байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

- [1] Ж.Аюурсэд, Монгол орны ой ашиглалтын баруун бүсэд шинэсэн зүсмэл материалыг атмосферийн аргаар хатаах зохистой горимын судалгаа, боловсруулалт, Улаанбаатар: Шинжлэх ухаан технологийн их сургууль, 2003.
- [2] М. о. U.-R. х. гишүүд, Модон бүтээгдэхүүний нэмүү өртгийн сүлжээний үнэлгээ ба монгол орны мод боловсруулах үйлдвэрлэлийн салбарт хүргэх зөвлөмж, Улаанбаатар: Байгаль орчин аялал жуулчлалын яам, 2020.
- [3] Б. Болормаа, Нарны энергиэр мод хатаах боломж ба хатаалгын горимын судалгаа, Улаанбаатар: Шинжлэх ухаан технологийн их сургууль, 2005.
- [4] Б. Намхайням, Хатаах төхөөрөмж, Улаанбаатар: Шинжлэх ухаан технологийн их сургууль, 1989.
- [5] Е. С. Богданова, Справочник по сушке древесины, Москва: Лесная промышленность, 1990.
- [6] А.Тунгалаг, Дулаанаар боловсруулсан модон материалын механик шинжийн судалгаа, Улаанбаатар: Шинжлэх ухаан технологийн их сургууль, 2021.
- [7] Стандартчилал хэмжил зүйн газар, Ашиглалтын үеийн ханасан эрдэс тостой цахилгаан тоног төхөөрөмж - Ууссан болон чөлөөт хийн шинжилгээний тайлбар заавар, Улаанбаатар, 2016.
- [8] <https://standard.gov.mn>
- [9] <https://www.techenomics.net>
- [10] <https://www.electrical4u.com/dga-or-dissolved-gas-analysis-of-transformer-oil-furfural-or-furfuraldehyde-analysis/>
- [11] <https://www.reinhausen.com/dissolved-gas-analysis-dga>
- [12] <https://new.abb.com/offering>
- [13] <https://www.dynamicratings.com/solutions/transformer-monitoring/dga-monitoring/>

ЧОЙБАЛСАН ХОТЫН ДУЛААНЫ ШУГАМЫН ГЭМТЛИЙН СУДАЛГАА

П.Мөнхдэлгэр, П.Бямбацогт

Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим Хүчний Сургууль Дулааны Инженерийн Салбар

*Холбогдох зохиогчийн и-мэйл хаяг: M.HD21E701@must.edu.mn

Хураангуй - Дорнод аймгийн Чойбалсан хотын төвлөрсөн дулаан хангамжийн системд гарсан кооролт гэмтлийг дахин нягталж ангиалан, ашиглалтын хугацааг уртасгах, болзошгүй осол аваараас урьдчилан сэргийлэх, цаашид дулаан хангамжийн системийг үр ашигтайгаар дамжуулан түгээх, боломжийг хангахад түлхэц болохыг зорьсон. Судалгааны үр дүнгээс харахад “ДБЭХС”ТӨХК Чойбалсан хотын дулааны эрчим хүч хэрэглэгчдийн гадна дулааны шугамд гэмтэл гарах, болзошгүй осол аваараас урьдчилан сэргийлэх Дулааны эрчим хүчээр тасалдуулахгүй байх боломж 70% - 80% байна.

Тулхуур үг - Дулааны эрчим хүч, дулааны шугам, шугамын насжилт, эрчим хүчний найдвартай байдал, эрсдэл

I. УДИРТГАЛ

Дулааны эрчим хүч бол хүний нийгмийн оршин тогтнох, улмаар хөгжих тулгуур нөхцөлийг бүрдүүлэгч мөн. Ялангуяа манай орны цаг агаарын эр тэс уур амьсгалтай бүсэд орших орны хувьд хүний амьдралыг дулааны эрчим хүчгүйгээр төсөөлөхийн аргагүй. Дулаан хангамжийн систем нь эх үүсгүүр, дамжуулах шугам сүлжээ, хэрэглэгч гэсэн гурван хэсгээс бүрддэг цогц систем юм. Энэхүү системийн үр ашигтай, найдвартай ажиллагаанд тэдгээрийн нарийн уялдаа холбооноос ихээхэн хамаарна. Өөрөөр хэлбэл системийг бүрдүүлэгч нэгж тус бүр үр ашигтай ажиллаж байж нийт систем үр дүнтэй ажиллагаагаар хангагдана. [5] Чойбалсан хот Монгол улсын гуравдагч том хотын нэг учир хүн амын өсөлт, шилжин ирэгсдийн тоо жилээс жилд өсөн нэмэгдэж байгаа тул үүнийг дагаад барилгажилт нэмэгдэн зарим хэсэгт дулааны шугамын нэвтрүүлэх чадвар хүрэлцэхгүй болсон. Иймд эрчим хүчийг найдвартай хүртээмжтэй хэрэглэгчдэд хүргэх зорилгоор тоног төхөөрөмжийн шинэчлэлтээс гадна эрчим хүчний хэмнэлтийг бий болгох, үр ашигтай ажиллагааг хангахад чиглэсэн ажлуудыг хийж эхлээд байна. [1]

Харин энэхүү үр ашигтай ажиллагааг хангахад нөлөөлөх хамгийн гол хүчин зүйл бол шугам хоолой, тоноглолын найдвартай ажиллагааг хангаж тасралтгүй ажиллуулах асуудал юм. [3] Дулаан хангамжийн найдвартай байдлын талаар судлахаас өмнө тухайн хотын дулааны сүлжээний найдваржилт, өмнө гарч байсан гэмтлүүдийг урт хугацаанд үнэлэх зайлшгүй шаардлагатай юм. Ийм учир дулааны сүлжээний сүүлийн есөн жилд гарсан гэмтлийн мэдээллүүдийг архивын материалаас шүүж ангиалан үнэлэлт дүгнэлт өгнө. Ийнхүү шугамын гэмтлийг үнэлснээр гэмтлийн төрөл, байршил,

цаг хугацаа зэргийг нарийвчлан судалж цаашид эдгээр гэмтлийг үүсгэхгүй байх нөхцөл боломжийг бүрдүүлэх боломжтой болно. Цаашлаад Чойбалсан хотын дулааны сүлжээний найдваржилт ямар түвшинд байгааг, ирээдүйн төлөв байдлыг үнэлж болох юм. Чойбалсан хотын дулаан хангамжийн системийн эх үүсгүүр болох Дорнод бүсийн Эрчим хүчний систем төрийн өмчит хувьцаат компанийн станцын суурийг 1969 онд тавьж 1972 онд үндсэн тоноглолуудыг ашиглалтанд оруулсан түүхтэй. Зүүн бүсийн ууган үйлдвэрийн нэг.

Тус станц нь Сүхбаатар, Хэнтий аймгуудын зарим сумдыг цахилгаанаар, Чойбалсан хотыг дулааны эрчим хүчээр хангаж, улмаар манай улсын төвийн эрчим хүчний системийг анх бүрдүүлсэн нэг үндсэн эх үүсвэр болдог. 48 мянган квт/ц буюу жилдээ 250 сая квт/ц цахилгаан 1045 мянган Гкал дулааны эрчим хүч боловсруулах хүчин чадалтай байгуулагдсан. Жилд дунджаар 300-400 мянган тонн нүүрс Адуунчулуун уурхайгаас авч технологийн хэрэгцээндээ ашигладаг. Хуучнаар ЗХУ-д үйлдвэрлэгдэн ТП35 У маркийн 3 35тн/цаг, ФБ-75 маркийн 3 зуухтай. АТ6-6-35-5, ПТ-135-10М маркийн нийлээд нь 36 Мвт/ц чадалтай 4 турбин генератортай. Чойбалсан хотыг бүхэлд нь хэрэгцээний халуун ус, дулаацуулгаар бүрэн хангаж хангадаг. [2]

Дэлхийн аж үйлдвэрийн IV хувьсгалыг даган эрчим хүчний хэрэглээ сүүлийн жилүүдэд Монгол улсад төдийгүй Зүүн бүсийн тулгуур төв Дорнод аймаг Чойбалсан хотод үлэмж хэмжээгээр ихсэж байна. [7] “ДБЭХС” ТӨХК-ийн 2022, 2023 оны эрчим хүч борлуулалтын хэлтсээс дулааны техникийн нөхцөл хүссэн аж ахуйн нэгж иргэдийн тоо 6-10% нэмэгдэж байна гэсэн судалгаа тоон баримт гарсан.

Хувилбар 1. Чойбалсан хотын төвлөрсөн дулаан хангамжийн гадна дулааны шугамын нийт урт 2021 оны байдлаар 26.6 хос/км сунасан схемтэй. Чойбалсан хотын дулаан дамжуулах сүлжээ нь анх ашиглалтанд орсноос хойш 55 дэх жилдээ ажиллаж байгаа ба ашиглалтын явцад өөрийн хөрөнгө болон улсын төсвийн хөрөнгө оруулалтаар өргөтгөл шинэчлэлтийг хийсээр ирсэн. Чойбалсан хотын шугам сүлжээний 30 гаруй хувь нь далд, үл нэвтрэх сувагт тавигдсан байдаг. Сүүлийн 10 жилд дулаан дамжуулах шугам хоолойд өргөтгөл шинэчлэл хийснээр дундаж насжилт 25 жил болсон. Нийт шугам хоолойн 57.5% нь ашиглалтын хугацаа дууссан ба үе шаттайгаар сольж шинэчлэх шаардлагатай байна.

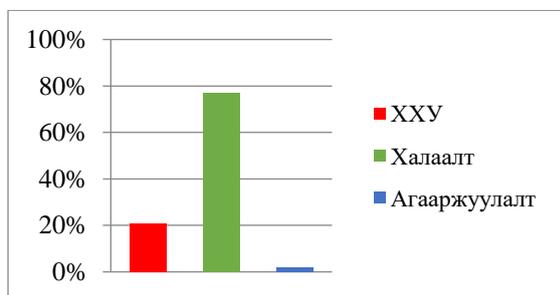
ЧОЙБАЛСАН ХОТЫН ДУЛААНЫ ШУГАМЫН УРТ, НАСЖИЛТ, ДИАМЕТР

1-р ХҮСНЭГТ.

№	Магистраль шугам	Шугамын насжилт	Шугамын урт	Шугамын диаметр
1	I магистраль	17-55 жил	6382 м	Ф426 мм
2	II магистраль	50 жил	5090 м	Ф500 мм
3	III магистраль	7-50 жил	1850 м	Ф320 мм

Чойбалсан хотын дулаацуулгын гадна агаарын тооцоот температур -36 хэм байдаг ба халаалт, хэрэгцээний халуун ус, агааржуулалтын ачааллаар нь ангилж үзвэл нийт ачааллын 80% нь дулаацуулгын зориулалтаар хангаж байна.

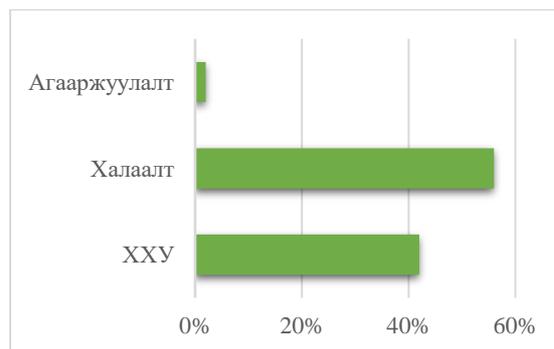
- Дулаацуулгад – 80.55 Гкал/ц
- Хэрэгцээний халуун усны ачаалал – 16.57 Гкал/ц
- Агааржуулалтын дулааны ачаалал – 1.88 Гкал/ц



1-р зураг. Чойбалсан хотын төвлөрсөн дулаан хангамжийн системийн дулааны ачааллын эзлэх хувь

2018 оны халаалтын улиралд түгээсэн дулааны хэмжээ нь 497.017 Гкал/жил ба мөн ачааллаар ангилсан графикаас харвал дулаацуулгын системд 56%, ХХУ-ыг халахад 42%,

агааржуулалтын системийг хангахад 2% -ийг тус тус түгээсэн.



2-р зураг. 2018 онд Чойбалсан хотын төвлөрсөн дулаан хангамжийн системийн дулааны ачааллын эзлэх хувь

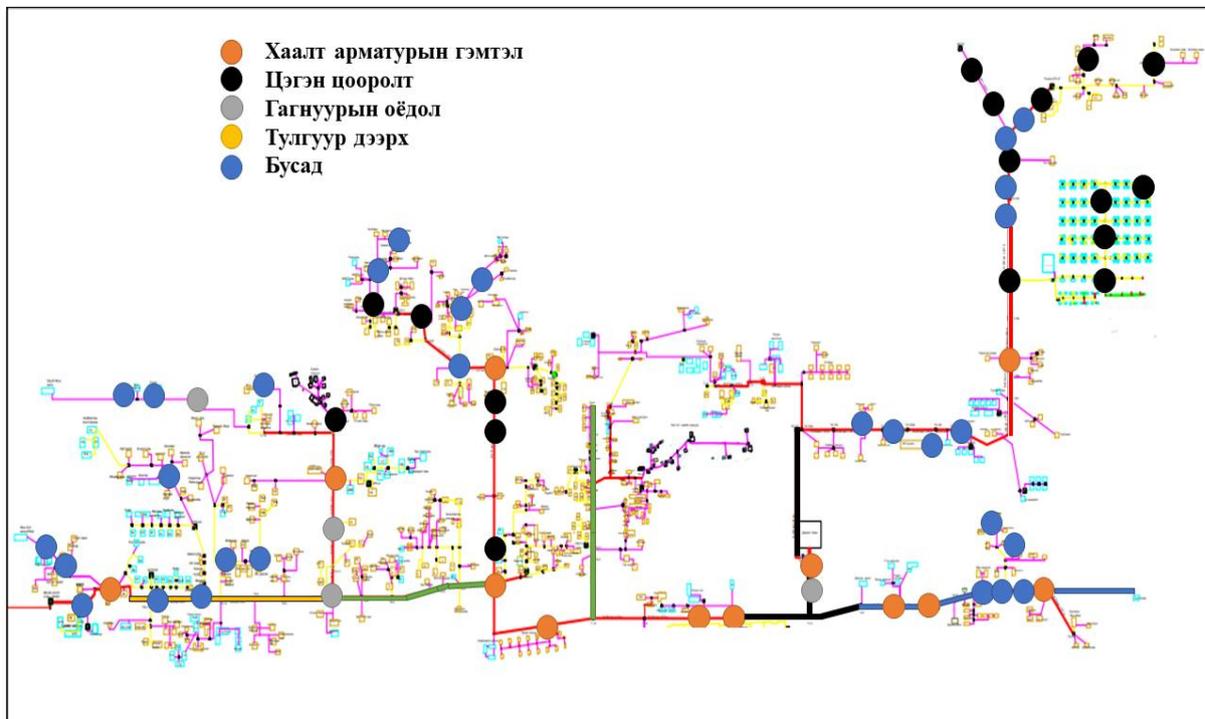
Чойбалсан хотын дулаан хангамжийн системийг хаалттай схемд шилжүүлэх, өөрөөр хэлбэл сүлжээний усны дулааныг ашиглан хүйтэн усыг халаах цогц төхөөрөмжүүдийг шинээр тоноглол хэрэглэгчдэд ундны цэвэр, халуун ус өгдөг болох, усны алдагдлыг бууруулах талаар дэс дараалсан ажлуудыг бодлогын хүрээнд авч үзэн амжилттай хэрэгжүүлснээр өнөөдрийн байдлаар хэрэглэгчдийн 80%-ийг хаалттай системд шилжүүлэн ажиллаж байна. Цаашид үргэлжлүүлэн дуусгах шаардлагатай.

ЧОЙБАЛСАН ХОТЫН ТӨВ ШУГАМД ГАРСАН СҮҮЛИЙН 5 ЖИЛИЙН ГЭМТЛИЙН СУДАЛГАА
2-р ХҮСНЭГТ

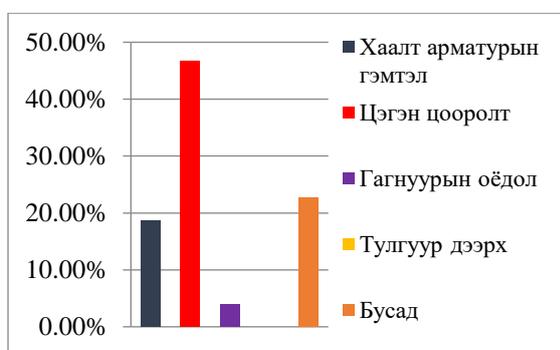
№	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Хаалт	1	1	2	3	4	0
Цэгэн цооролт	2	3	4	2	2	3
Гагнуурын гэмтэл	1	0	0	2	2	1
Тулгаар дээрх	0	0	0	0	0	0
Бусад	2	3	4	6	4	0
Нийт	5	7	10	13	12	4

Дээрх хүснэгтээс харахад их засвар болон ашиглалтын үед засвар үйлчилгээг тогтмол хийж байсан ч гэмтлийн тоо буурахгүй байгаа нь харагдаж байна. Эдгээр гэмтлүүд дулаан дамжуулах сүлжээнд түгээмэл ажиглагддаг ба энэхүү судалгааг хийхийн тулд байгууллагын

архивын материал болон өөрийн цуглуулсан материалыг ашиглан гүйцэтгэсэн болно. [6]



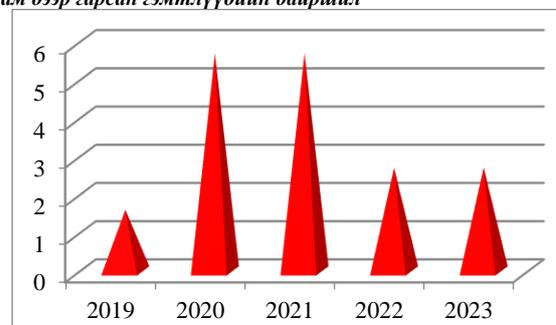
3-р зураг. Чойбалсан хотын дулааны төв шугам дээр гарсан гэмтлүүдийн байршил



4-р зураг. Чойбалсан хотын дулааны төв шугам дээр гарсан гэмтлүүдийн хувь хэмжээ

Дээрх судалгааны дүнгээс харахад гагнуурын оёдлын гэмтэл 4.0%, тулгуур дээрх гэмтэл 8.0%, хаалт арматурын гэмтэл 18.7% цэгэн цооролтын гэмтэл 46.7%, бусад гэмтэл 22.7%-ийг тус тус эзэлж байна.

Эндээс дулааны шугамын түгээмэл гэмтлийн нэг бол цэгэн цооролт гэж харагдаж байна.



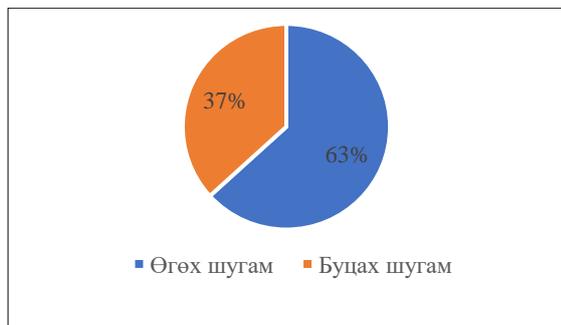
5-р зураг. Дулааны шугамын сүүлийн 5 жилд гарсан цэгэн цооролтууд

Цэгэн цооролтын хэмжээг сүүлийн 5 жилийн судалгаанаас харахад 2022, 2023 онуудад маш их гарсан байна. Сүүлийн 2 жилд харьцангуй бууж байгаа боловч цэгэн цооролтоос үүдэлтэй гэмтэл гарсаар байна. Энэ гэмтэл нь бага талбайг хамардаг боловч сүлжээний хэвийн ажиллагааг маш их доголдуулдаг гэмтэл юм.

Мөн түүнчлэн тухайн гэмтлүүд дулаан дамжуулах шугам хоолойн даралт, сүлжээний усны температур, зэргээс хамаарах учир тэдгээр учир шалтгаануудыг тодруулах зорилгоор өгөх буцах шугам дээр гарсан тоон үзүүлэлтүүдийг нэгтгэн графикаар үзүүлэв.



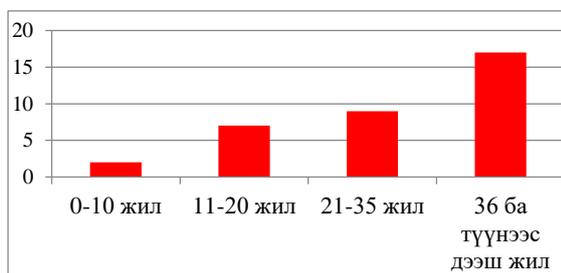
6-р зураг. Чойбалсан хотын дулаан дамжуулах өгөх, буцах шугамд гарсан цэгэн цооролтын харьцаа



7-р зураг. Чойбалсан хотын дулаан дамжуулах өгөх, буцах шугамд гарсан цэгэн цооролтыг хувиар илэрхийлбэл

Эндээс харахад нийт гарсан цэгэн цооролтын 62.6% нь дулаан дамжуулах өгөх шугам дээр гарсан байна.

Дулаан дамжуулах шугам хоолойн насжилтын байдлаас хамааруулан гарсан цэгэн цооролтын хэмжээг доорх зурагт харуулав.



8-р зураг. Шугамын насжилтаас хамаарсан цэгэн цооролт

Графикаас харахад 36 жил буюу эдэлгээний хугацаа дууссан шугам дээр нийт гэмтлийн 17, 21-35 жил ажилласан шугам дээр 9, 11-20 жил ажилласан шугам дээр 7.0-10 жил ажиллаж байгаа шугам дээр 2 гэмтэл гарсан байна. Эндээс харахад цэгэн цооролт нь шугам хоолойн ашиглалтын хугацааг богиносгож, эдэлгээний хугацааг 12-15 жил буюу нормт хугацаанаас 1.5-2 дахин бага болгож байгаа юм.

ДҮГНЭЛТ

Дулааны эрчим хүчийг үйлдвэрлэж буй болон түгээж байгаа байгууллагын хувьд үндсэн зорилго нь тасралтгүй найдвартай, чанартай

ЧОЙБАЛСАН ХОТЫН ДУЛААН ДХС-Д ТҮЛХҮҮ АШИГЛАДАГ ШУГАМ ХООЛОЙН ХИМИЙН НАЙРЛАГА

3-Р ХҮСНЭГТ

Химийн найрлага							
Гангийн зэрэг	Чанарын зэрэг	C	Si	Mn	P	S	Исэлдүүэх арга
Q235	Q235A	0.22	0.35	1.40	0.045	0.050	Rimmed
	Q235B	0.20	0.35	1.40	0.045	0.045	Rimmed
	Q235C	0.17	0.35	1.40	0.040	0.040	Rimmed
	Q235D	0.17	0.35	1.40	0.035	0.035	Exceptionally

Чойбалсан хотын дулаан хангамжийн системд ихэвчлэн Q235B маркийн ган хоолойг сонгон авч угсарсан байна. 2019-2024 оны үед гарсан нийт гэмтлүүдийн дийлэнх нь Q235B маркийн ганаар угсарсан байсан. Q235B маркийн ган нь хэв гажилтанд хялбар ордог шугамын ханын зузаан нимгэн үнийн хувьд хямд. [9] Тиймдээ ч хэрэглэгч аж ахуйн нэгж байгууллагууд Q235B маркийн гангаар хийсэн шугам хоолойг сонгох нь элбэг байдаг байна. “ДБЭХС”ТӨХК-ийн химийн лаборатори нь графикайн дагуу сүлжээний өгөх, буцах шугамын усанд химийн шинжилгээ хийдэг. Мөн зуны их засвараар төв магистраль шугамуудад тус тус зэврэлтийн индикатор байрлуулж “0” зогсолт болон засварын үед төв ба түгээх шугамд ханын зузааны хэмжилт, металлын шинжилгээг хийж жил бүр хийж байна.

эрчим хүчээр хангана гэж заасан байдаг учир энэхүү зорилго, зорилтыг биелүүлэхэд сүлжээнд ямар гэмтэл гарч байна, гэмтлийн эзлэх хувь, байрлал зэргийг байгууллагын мэдээллийн

материалуудыг ашиглан сүүлийн 5 жилийн хугацаанд нэгтгэж дүгнэсэн.

Судалгаанаас харахад гэмтлүүдийг 5 бүлэгт хувааж болохоор байгаа ба үүссэн тоон хувьд харилцан адилгүй ялгаатай байна.

Гэмтлийн хувьд шугамын гэмтэл удаан ашигласан шугам хоолойд /36-аас дээш/ их буюу 50% үүсэж байна. Түүнд нөлөөлж буй хүчин зүйлс болох шугам хоолойн зэврэлт, сүлжээний усны чанарын үзүүлэлт зэргийг 5 жилийн үзүүлэлтийг нэгтгэн харьцуулалт хийсэн.

Чойбалсан хотын дулааны сүлжээ 2020 оны байдлаар найдваржилтыг түвшин 0.76 буюу найдвартай гэсэн буюу үндсэн үзүүлэлтийн 2-р зэрэглэлд байгаа боловч хуучирсан дулааны шугам хоолойг шинэчлэн солилгүй сүлжээний усны боловсруулалтанд сайтар анхаарахгүй тохиолдолд 1.7 жилийн дараа буюу ойролцоогоор 2 жилийн дараа бага найдвартай гэсэн зэрэглэл рүү орохоор харагдаж байна.

Эхний шатанд 36 жилээс дээш ашигласан үйлдвэрийн районд байгаа 40%-иас дээш ханын зузааны нимгэрэлтэй К78-К94 хүртэлх 9.1 км шугамыг болон хотын өмнө хэсгээр буюу 1965-1972 хүртэлх онд суурилагдсан 50%-иас дээш ханын зузааны нимгэрэлтэй К8-К766 хүртэлх 8.8

км хуучин шугамуудыг чанарын шаардлага хангасан шинэ шугамуудаар сольсноор дулаан хангамжийн системийн найдваржилтийн түвшин нэмэгдэж, засвар үйлчилгээнд зарцуулах зардлын хэмжээ буурах сайн талтай юм.

Ийм учраас дээрх тооцооллоор гарсан хугацаанаас өмнө дулааны сүлжээний ашиглалтын хугацаа дууссан шугам хоолойг солих, гэмтлийн тоог бууруулах арга хэмжээнүүдийг авч энэ тоон үзүүлэлтийг дээшлүүлэх шаардлагатай байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

- [1] Төрөөс эрчим хүчний талаар баримтлах бодлого
- [2] Б.Намхайням, “Дулаан хангамжийн систем”, Улаанбаатар: Соёмбо принтинг, 2015 он, хуудас 277-282.
- [3] П.Сайнбилэг, “Дулааны шугам сүлжээний ашиглалтын заавар”, Улаанбаатар: Сүхбаатар хэвлэл, 1995 он, хуудас 112-115
- [4] ЭБЭХЯ. “Нэгдсэн сүлжээний дүрэм”, Улаанбаатар, 2010 он хх 50-51
- [5] БНБД 41-02-05, Гадна дулаан хангамж
- [6] Л.Дашчимэг, “Дархан хотын дулааны шугамын гэмтлийн судалгаа”, Улаанбаатар, ШУТИС, ЭХИС, 2016. ХХ 158-164.
- [7] Эрчим хүч engineering, сэтгүүл
- [8] В.НМелькумов, “Мониторинг надежности тепловых сетей”, Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Воронеж, 2011.
- [9] Д.Батмягмар, “Дулаан хангамжийн системийн усны чанар тоног төхөөрөмжид нөлөөлөх нь”, Техникийн ухааны магистрын зэрэг горилсон бүтээл, Улаанбаатар, 2006.

ЭРДЭНЭТ ХОТЫН ГЭР ХОРООЛЛООС ҮҮДЭЛТЭЙ АГААРЫН БОХИРДОЛ БА БУУРУУЛАХ АРГА ЗАМ

Г.Дүүрэнжаргал, Б.Намхайням, П.Бямбацогт
Монгол Улсын Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургууль, Эрчим Хүчний Сургууль
**Холбогдох зохиогчийн и-мэйл хаяг:*

Хураангуй — Эрдэнэт хот Уулын баяжуулах үйлдвэр түшиглэн байгуулагдсан, цөөхөн хүн амтай, гэсэн хэдий ч агаарын бохирдол ихтэй. 1990 оноос хойш өөр бусад аймгуудаас олон тооны айл өрхүүд шилжин ирж гэр хороолол тэлсэн ба тэдгээрийн ихэнх нь гэр болон амины сууцанд амьдарч байна. Эрдэнэт хотын агаарыг Уулын баяжуулах үйлдвэрийн технологийн хаягдал-цагаан шороо, мөн гэр хорооллын айлуудын нүүрсний зуухнаас ялгарах утаа голчлон бохирдуулж байгааг судалгаагаар тогтоосон байдаг.

Энэхүү илтгэлд гэр хорооллын айл өрхүүд болон зуухны газруудын тоо, байрлалыг тодорхойлж хотын хэмжээнд хорт хийнүүдийн агууламж яаж өөрчлөгдөж буй байдал, жилд хэрэглэж байгаа нүүрс болон модон түлээний тоо хэмжээг тодорхойлсон үр дүн, мөн цаашид гэр хороолоос үүдэлтэй агаарын бохирдлыг бууруулах, улмаар байхгүй болгох арга замын талаар оруулсан болно.

Түлхүүр үг— Агаарын бохирдол, нүүрсний зуух, хорт хийн агууламж, барилгын дулааны алдагдал.

I. УДИРТГАЛ

Хот суурин газруудад үйл ажиллагаа явуулдаг төрийн ба бизнесийн үйлчилгээ явуулдаг байгууллагууд, тухайлбал сургууль, цэцэрлэг, цагдаагийн хэсэг, дэлгүүр болон үйлчилгээний газрууд, мөн айл өрхүүд бүгд хотын дулаан хангамжийн төвлөрсөн системд холбогдох боломжгүй байгаагаас болж тэдгээр нь өөрсдийгөө нүүрсний зуух ашиглан дулааныхаа хэрэгцээг хангадаг. Тэдгээр нүүрсний зуухнуудын АҮК нэн доогуур, шаталтаас үүсэх утаанд агуулагдах үнс, хорт хий болох-азотын дутуу исэл, хүхрийн исэл, угаарын хий зэргийг шууд агаарт хаяж байна. Эрдэнэт хотод 14000 айл гэр хороололд амьдарч жилд 18.0 мянган тонн нүүрс хэрэглэж байгаа ба тэдгээрээс ялгарах утааны хорт хийнүүдийн агаар дахь агууламж өвлийн улиралд, ялангуяа 12 ба 1-р сард хүлцэх хэмжээнээс 1.3 дахин хэтэрч байна.

Хотын агаарын бохирдлыг бууруулах хамгийн бодитой, хэрэгжүүлж болох аргууд бол сонирхсон айл өрхүүдийг нийтийн орон сууцаар хангах, амины сууцанд амьдрах хүсэлтэй айлуудын хувьд сууцны барилгыг нь өнөөдөр мөрдөж буй БНБД-ын шаардлагыг хангах түвшинд хүртэл дулааж дулааны алгадлыг нь багасгах, утаа ялгаруулахгүй дулааны үүсгүүр- цахилгаан халаагуур, хийн зуух зэргийг ашиглах явдал юм.

II. СУДАЛГААНЫ ХЭСЭГ

Хотын агаарын бохирдлын хэмжээг тогтоохын тулд Орхон уул аймгийн агаарын чанарын албаны хэмжилтийн өгөгдлүүдийг ашиглан хорт хийнүүдийн агууламжийг хотын төвийн хувьд судалсан.

Мөн агаарын бохирдлыг бууруулах арга зам бүрийг хэрэгжүүлэхэд шаардагдах зардал болон үр өгөөжийг нэг айлын хувьд тооцож гаргасан.

1. Агаарын бохирдлын өнөөгийн төлөв байдал

1976 онд Эрдэнэт хот байгуулагдсан. Нутаг дэвсгэр, засаг захиргааны нэгжийн өөрчлөлтөөр 1994 онд “Орхон аймаг” болон зохион байгуулагдсан. Эрдэнэт хот улс орны эдийн засаг, нийгмийн хөгжилд бодитой хувь нэмэр оруулж байгаа. Аймгийн төвд улсын зэрэглэлтэй Эрдэнэт хот оршдог. Хотын төвд нийт өрх хүн амын 97 орчим хувь амьдардаг.



1-р зураг. Эрдэнэт хотын байрлалын газрын зураг

Баян-өндөр ба Жаргалант хоёр сумтай. Газар нутгийн хувьд хотын төв, гэр хороолол, тосгон, төмөр зам гэсэн хэсгүүдтэй.

Сүүлийн жилүүдэд Эрдэнэт хотод хүн ам ихээр төвлөрч байгаа, 2022 оны байдлаар 105.0 мянган хүн суурьшин амьдарч байна. Орхон аймгийн хамгийн их хүн амтай баг нь Баян-Өндөр сумын Эрдэнэ баг 7499, Яргуйт баг 6297 хүн амтай, Уурхайчин баг 6112 хүн амтай тоологджээ.

Эрдэнэт хотын агаар бохирдлын эх үүсвэрийн тоолох үйл ажиллагаа 2022 онд явагдсан. энэхүү тооллогоор,

- 13532 айл өрх, аж ахуйн нэгжид, 3-15 кВт чадалтай зуух,
- 3 аж ахуйн нэгжид 15-100 кВт хүчин чадалтай нам даралтын ус халаах зуух,
- 6 аж ахуй нэгжид 101-4200 кВт чадалтай халаалтын зуух ажиллаж байсан.

Эрдэнэт хот агаарын бохирдол ихтэй, харагдах байдлыг зургаар харуулав.



2-р зураг. Эрдэнэт хотын агаарын төлөв байдал 2024 оны 3-р сарын 9 өдөр

Эрдэнэт хотын агаарын бохирдлын түвшин нь түүний эх үүсвэрийн байршил бохирдуулагч хүчин зүйлсийн тархах хүрээ, найрлага бүтэц, байрлалаас шалтгаалан хотын янз бүрийн бүсүүдэд харилцан адилгүй байна.

Эрдэнэт хотын агаарыг бохирдуулагч үндсэн эх үүсвэрүүдийг дурдвал:

1. Уулын баяжуулах үйлдвэрийн хог хаягдал аж ахуйн далангийн хөвөөний нарийн ширхэгтэй, янз бүрийн сульфидууд болон химийн хорт бодисууд агуулсан цагаан тоос;
2. Цахилгаан станц, уурын зуухны ил задгай асгасан үнс, хогийн цэгүүд элэгдэл эвдрэлд орсон газрын хөрснөөс босох тоос шороо зэрэг эх үүсвэрүүд болно.
3. Хотын ба Эрдэнэт үйлдвэрийн Дулааны цахилгаан станцууд. Жил бүр дунджаар 560 мянган тонн нүүрс шатааж түүнээс багагүй

хэмжээний хорт хий ба үнс ялгарч орчинд хаядаг.

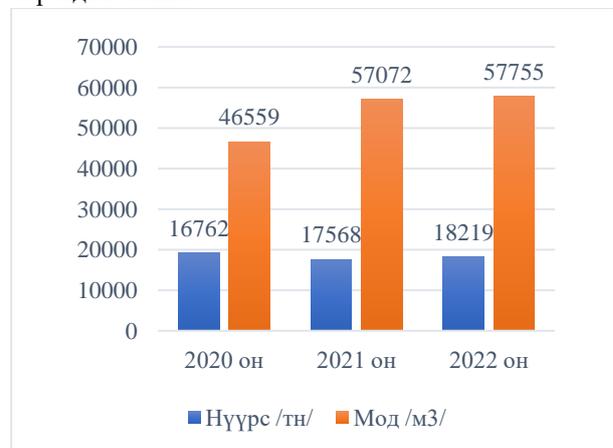
4. Гэр хорооллын 13 гаруй мянган айл өрхүүд жилд дунджаар 18 мянган тонн нүүрс, 57 мянган шоо метр мод үр ашиг муутай гэрийн болон нам даралтын зууханд шатааж ихээхэн хэмжээний хорт хийнүүд ба үнс ялгаруулдаг Айл өрхүүдийн байрлал тоог хүснэгтээр үзүүлэв.

ГЭР ХОРООЛЛЫН АЙЛ ӨРХИЙН БОЛОН ТҮЛШНИЙ ТОО ХЭМЖЭЭ

1-Р ХҮСНЭГТ

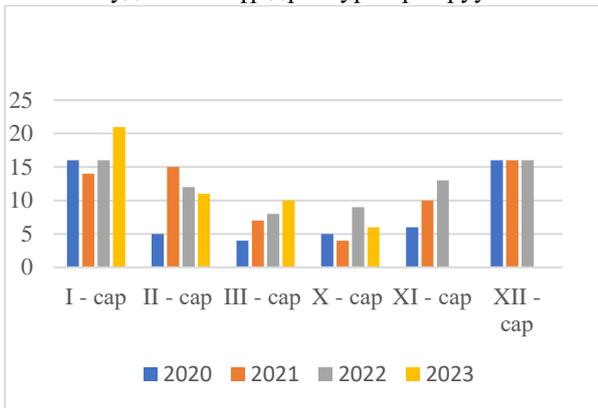
№	Баг	Айл өрхийн тоо			
		Гэр	Байшин	Түлшний хэмжээ	
				Нүүрс	Мод,м3
А бүс					
1	Баянбулаг, Булаг, Цагаанчулуут	595	2157	3347	9392
В бүс					
2	Баянцагаан, Говил	537	1071	989	2716
С бүс					
3	Даваат, Наран, Шанд, Их залуу, Яргуйт, Рашаант	1211	3382	6797	15149
Д бүс					
4	Дэнж, Эрдэнэ, Уртын гол,	1030	2700	5585	22213
Нийт		3363	10169	18219	57755
		13532			

Гэр хорооллын айл өрхийг 4 бүс болгон авч үзье. Дээрхи хүснэгтээс харахад аймгийн хэмжээнд нийт 13532 айл өрх, 18219 тн нүүрс, 57755 м³ модыг түлшинд зарцуулсан байна. С болон Д бүсд хамгийн олон айл өрх болон түлшний хэмжээ өндөр байгаа харагдаж байна.

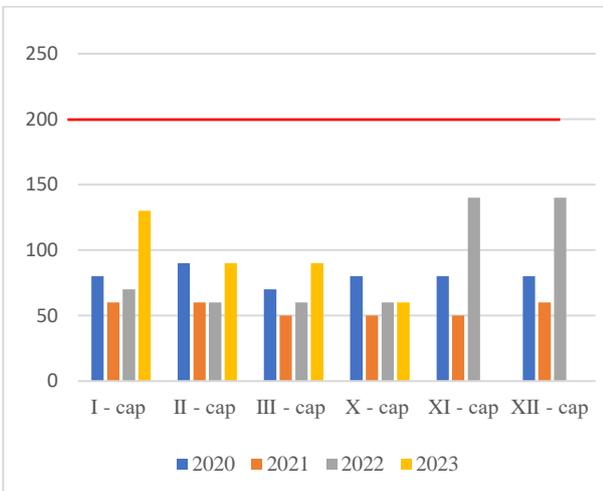


3-р зураг. Гэр хорооллын айл өрхийн жилд хэрэглэсэн түлшний хэмжээ

Орхон аймгийн агаарын бохирдлын сүүлийн 4 жилийн судалгааны үр дүнг зургаар харуулав.

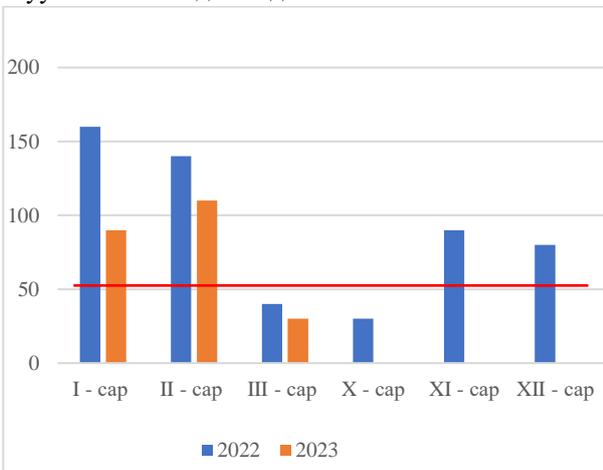


4-р зураг. Хүхрийн давхар ислийн сарын дундаж агууламж, 2020-2023 он



Зураг 5. Азотын давхар ислийн сарын дундаж агууламж, 2020-2023 он

Азотын давхар ислийн дундаж агууламж 68 мкг/м³ хүрч Агаарын чанарын MNS 4585 2016 стандарт дах хүлцэх агууламжаас хэтрээгүй байна. хамгийн их агууламж хотын төвд 279 мкг/м³ буюу хүлцэх агууламжаас 1.4 дахин давсан байна.



6-р зураг. PM2.5 тоосонцрын агууламж, 2023 он

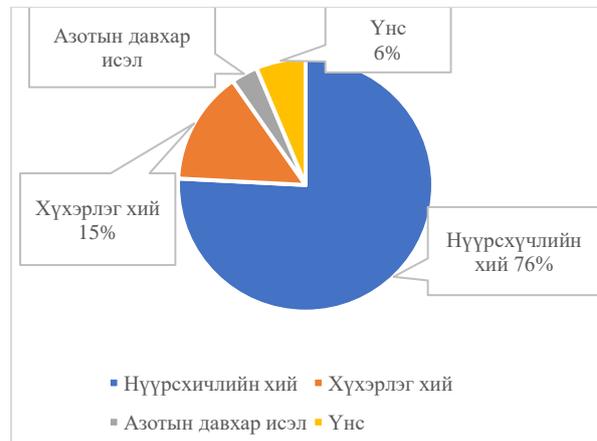
2023 оны 1-р сарын үзүүлэлтээр, PM2.5 тоосонцрын дундаж агууламж 88.0 мкг/м³ болж хүлцэх агууламжаас 1.8 дахин хэтэрсэн байна. 2-р сарын дүн PM2.5 тоосонцрын дундаж агууламж 109.0 мкг/м³ болж хүлцэх агууламжаас 2.2 дахин хэтэрсэн байна. Харин 3,4, 5-р саруудад хэвийн хэмжээнд байсан байна.

2021-2022 онд гэр хорооллын айл өрхийн нүүрсний хэрэглээ 3.6%, модны хэрэглээ 1.2% өссөн байна.

Эрдэнэт хотын агаарын чанарын хяналт шинжилгээгээр:

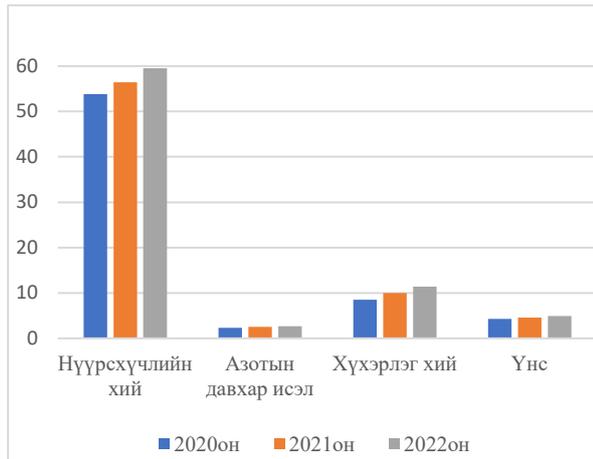
- 1. Хүхэрлэг хий (SO₂)** агууламж хотын төв орчмоор 5 мкг/м³, гэр хорооллын орчим 9 мкг/м³ агууламжтай байна. 12-р сард гэр хороолол орчим 111 мкг/м³ байна. Үүнийг өмнөх мөн үеийнхтэй харьцуулахад хотын төв орчим дундаж агууламж ижил түвшинд, гэр хороолол орчимд 1.4 дахин өссөн үзүүлэлттэй байна.
- 2. Азотын давхар ислийн агууламж** хотын төв орчимд 74 мкг/м³, гэр хороолол орчимд 43 мкг/м³, хамгийн их агууламж 12-р сард хотын төв орчим 678 мкг/м³ буюу хүлцэх агууламжаас 3.4 дахин давсан. 1, 2, 3, 11,12-р саруудад дээр хийн агууламж ХА-аас 1.2 дахин давсан

PM2.5 тоосонцрын агууламж. Хотын төв орчимд жилийн дундаж 52 мкг/м³, гэр хороолол орчим 51 мкг/м³, хамгийн их агууламж 1-р сард хотын төв орчим 396 мкг/м³ ХА-аас 8 дахин давсан байгаа нь агаарын индексээр бохирдолтой ангилалд орсон байна. Хэмжилтийн дүнгээс харахад 1, 2, 3, 10, 11, 12-р саруудад ХА-аас давсан байна.



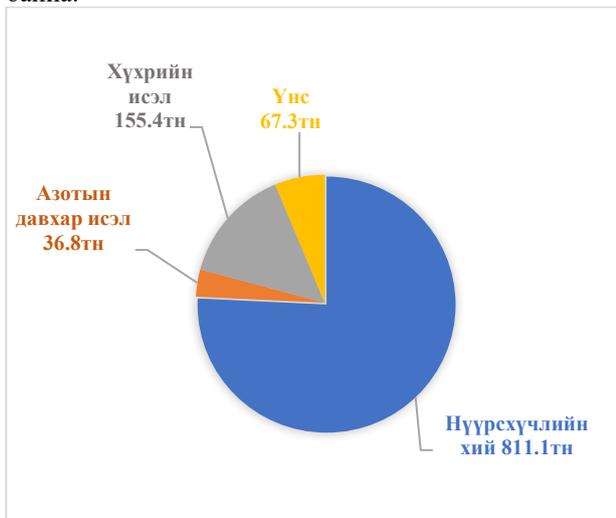
7-р зураг. Нэг тонн хүрэн нүүрс шатаахад дунджаар ялгарах хорт хий

Эрдэнэт хотын хувьд нэг айл жилд 1,9тн хүрэн нүүрсийг түлшиндээ хэрэглэж буй судалгаа гарсан. Үүнийг тооцоолж 1 айлаас хэр хэмжээний хорт хий ялгарч байгааг судалгаа тооцоолол хийе.



8-р зураг. Жилд нэг айлын нүүрснээс ялгарах хорт хий

Эрдэнэт хотод нэг айл жилд 1,9 тн нүүрс шатааж буй судалгаа гарсан ба сүүлийн 3 жилийн хэр хэмжээний хорт хий ялгарч байгаа үр дүнг зурагт үзүүлээ. Манай аймгийн хувьд хангайн бүс нутаг бөгөөд гол төлөв модыг түлшиндээ түлхүү ашиглаж байна.



Зураг 9. Хотын хэмжээнд ялгарч буй хорт хийн хэмжээ

Эрдэнэт хотын хувьд Баян тээг болон Шарын голын нүүрсийг голчлон түлшиндээ ашиглаж буй судалгаа гарсан.

- Баян тээгийн нүүрсний үнэ 1тн – 350,000төг
 - Шарын голын нүүрсний үнэ 1тн – 280,000төг
- 1 куб.метр мод - 350,000төг тус тусын үнэтэйгээр эрдэнэт хотод захуудаар борлуулагдаж байна.

2. Агаарын бохирдлыг бууруулах арга замууд

Эрдэнэт хотын хувьд агаарын бохирдол мэдэгдэхүйц өсөх хандлагатай байгаад шинжлэх ухааны үндэслэлтэй арга хэмжээ авахгүй бол цаашид улам өсч улмаар хүмүүсийн эрүүл саруул орчинд амьдрах таатай нөхцөл алдагдахад эрсдэлтэй байна. Иймд бүх төрлийн органик түлшийг шатаах явцад үүсэх нүүрстөрөгч, устөрөгч, хүхэр ба азотын ислүүд агаар

орчны гол бохирдуулагч бодис болон дэгдэж байгаа нь хүний эрүүл мэндэд хортой нөлөө үзүүлж байна. Агаарын бохирдлын үүсгүүр, онцлог, тархах эрчмийг цаг агаар болон хүрээлэн буй орчны янз бүрийн нөхцөлд судлан тогтоож, түүнээс урьдчилан сэргийлэх, бууруулах төрөл бүрийн арга хэмжээг авч хэрэгжүүлэх том зорилт тулгарч байна.

Агаарын бохирдлыг бууруулахын тулд

- а. Амины сууц ба гэрийг стандартын түвшинд хуртэл нэмж дулаалах замаар дулааны алдагдлыг багасгах

Дулааны алдагдал багатай барилга барих нь нийгмийн эрүүл мэнд, эдийн засаг, байгаль орчны зэрэг олон талын ач холбогдолтой асуудал юм. Хувь хүмүүс өөрсдийн амины орон сууц, гэр орныхоо дулааны алдагдлыг бууруулснаар халаалтын зардал нь багасна. Түүгээр ч зогсохгүй тав тухтай амьдрах, ажиллах орчны чанар сайжирдаг.



Зураг 10. Дулаалга хийж дулаан алдагдал бууруулах тооцоолол хийх объект

Зураг дээр үзүүлсэн байшин нь 5*7 хэмжээтэй бөгөөд хана, шал, дээврээр дулаан их алддаг учир Барилгын норм дүрмийн дагуу нэмж дулаалахад ямар зардал хэрэгтэйг тооцож хүснэгтээр үзүүлэв.

ДУЛААН АЛДАГДАЛТАЙ БАЙШИНГ
ДУЛААЛАХ МАТЕРИАЛЫН БОЛОН ҮНИЙН
СУДАЛГАА

2-Р ХҮСНЭГТ

№	Дулаалгын материалын нэр	Хэмжээ, м3	Нэгжийн үнэ, мянган төгрөг	Нийт үнэ, мянган төгрөг
Дээврийн дулаалга				
1	Дээврийн төмөр	66	12.0	792.0
2	Дулаалгын шилэн хөвөн	40	96.0	192.0
3	Бусад материал			250.0
Хана				
6	Сайдинг	40	28.0	1120.0
7	Дулаалгын шилэн хөвөн	60	96.0	288.0
8	Бусад материал			200.0
Шал				
9	Хөөсөн дулаалга	1,7	200.0	350.0
10	Бетон зуурмаг	2,8	320.0	896.0
11	Бусад зардал			200.0
Нийт				4000.0

Амины сууц нэмж дулаалахад 4 сая төгрөг шаардагдах ба нүүрсний жилийн хэрэглээ 1.8 дахин буурахаар байна.

5 ХАНАТАЙ МОНГОЛ ГЭРИЙГ НЭМЖ
ДУЛААЛАХАД ШААРДАГДАХ МАТЕРИАЛ
БОЛОН ЗАРДЛЫН ХЭМЖЭЭ

3-Р ХҮСНЭГТ

№	Дулаалгын материалын нэр	Хэмжээ	Нэгжийн үнэ, мян.төг	Нийт үнэ, мян.төг
1	Чийг тусгаарлагчтай дулаалга		190.0	380.0
2	Шалны дулаалгын хөөс	1,46м3	200.0	293.0
3	Бетон зуурмаг	2,051м3	320.0	656.0
4	Бусад материал			250.0
Нийт				1579.3

Гэр нэмж дулаалахад 1.6 сая төгрөг шаардагдах ба нүүрсний жилийн хэрэглээ 1.5 дахин буурна.

б. Хотын дулаан хангамжийн төвлөрсөн системд холбогдох боломжтой амины орон сууцуудыг сүлжээнд холбох.

Орхон аймгийн Рашаант багийн гэр хорооллын 959 оршин суугчтай бөгөөд агаарын бохирдлыг

бууруулах зорилгоор тус багт улсын төсвийн хөрөнгө оруулалтаар төвийн шугам суурилуулсан. Рашаант баг жилд 1392 тн нүүрс, 3595 м3 мод түлшиндээ хэрэглэж байна.

250 айл өрхийг төвлөрсөн дулаан хангамжийн системд холбох боломж бүрдэж байгаа бөгөөд агаарын бохирдлыг 30% бууруулахаас гадна иргэдийн тав тухтай орчинд амьдрах нөхцөл бүрдэж байна.

в. Нүүрсний зуухнуудыг Цахилгаан халаагуур, Дулааны насос зэрэг орчин үеийн үүсгүүрээр солих;

Төвийн дулаанд холбогдох боломжгүй, гэр хорооллын айл өрхүүдийн хүлэмжийн болон хорт хийнүүдийн ялгарлыг бууруулах зорилгоор цахилгаан халаагуурт холбох судалгаа хийв. Үүнд

- Дэнж баг 593 айл өрхтэй ба түлшиндээ 939 тн нүүрс, 4530м3 мод хэрэглэж байна. Тус багийн 200 айл өрхийг цахилгаан халаагууртай болгосноор агаарын бохирдол 30%-иар буурч хорт хий ялгарахгүй болно.
- Эрдэнэ баг 1864 айл өрхтэй ба түлшиндээ 1829 тн нүүрс, 13823м3 мод хэрэглэж байна. Тус багийн 500 айл өрхийг цахилгаан халаагууртай болгосноор агаарын бохирдол 27%-иар буурч хорт хий ялгарахгүй болно.

ДҮГНЭЛТ

1. Эрдэнэт хотын хэмжээнд дээр дурдсан арга замуудыг үе шаттайгаар хэрэгжүүлсэн тохиолдолд хотын агаарын бохирдол 2035 он гэхэд байхгүй болж иргэдийн эрүүл аюулгүй орчинд амьдрах нөхцөл сайжрах болно.

2. Гэр хорооллын нэг айл жил тутам дунджаар 1.9 тонн нүүрс, 3 куб метр мод хэрэглэж байгааг тогтоов.

3. Гэр болон амины сууц, мөн аливаа төрлийн барилгыг нэмж дулаалахад шаардагдах хөрөнгө оруулалтын зардлыг нүүрс түлшний хэрэглээний зардлын хэмнэлтээр 2-3 жилийн дотор нөхөж чадна.

АШИГЛАСАН НОМ ЗҮЙ

- [1]. Бүсжавын Намхайням (2015) Дулаан хангамжийн систем Улаанбаатар, Монгол
- [2]. Орхон аймгийн засаг даргын тамгын газар засаг даргын 2022оны 11 дүгээр сарын 07-ны өдрийн А/759 захирамжийн тооллогын дүн материал
- [3]. Орхон аймгийн БОАЖГ, УЦУОШГ-ын архивын материал
- [4]. Орхон аймаг захирагчийн алба 2023оны аймгийн гэр хорооллын иргэдийн нэгдсэн судалгааны материал
- [5]. <https://ecc.erc.gov.mn/>

ECL – 210, RVD – 145 КОНТРОЛЛЕРУУДЫН ХАРЬЦУУЛСАН СУДАЛГАА

Магистрант Б.Аюурзана¹, О.Чимэд²,

¹ Монгол улс, Улаанбаатар, Аж богд инженеринг ХОСНААК

² Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Дулааны инженерийн салбар

*Холбогдох зохиогчийн и-мэйл хаяг: Ayurayur66@gmail.com chimedo@must.edu.mn

Хураангуй—Монгол улсад дулаан хангамжийн системийн дулааны үр ашгийн төсөл 2002 оноос хэрэгжсэнээр дулааны эрчим хүчний хэрэглэгч, объект тус бүрд ялтсан дулаан солилцууртай дулааны цогц төхөөрөмж бүхий зангилаатай болсон түүхтэй. Монгол улсын ихэнх ус дулаан дамжуулах төвүүдэд Дани улсад үйлдвэрлэгдсэн Danfoss фирмийн ECL-210, ECL-300, Швейцар улсад үйлдвэрлэгдсэн Siemens фирмийн RVD-120, RVD-140, RVD-145 контроллеруудыг автомат тохируулгын системд өргөн хэрэглэж байна. Иймд дээрх контроллеруудаас ECL210 болон RVD-145 контроллеруудыг сонгон авч автоматжуулалтын чанарын үзүүлэлтийн харьцуулсан судалгааг хийж гүйцэтгэв.

Түлхүүр үг—дулаан хангамж, контроллер, автомат тохируулгын систем, хожимдлын хугацаа, тогтворжилт.

I. УДИРТГАЛ

Орчин үед дулаан хангамжийн системийн найдвартай, ашигтай ажиллагааг дээшлүүлэхэд хэрэгцээний халуун усны температурыг нарийн барьж тохируулах шаардлага тавигдах болсон [1]. Дулааны бүх хэрэглэгч дулаануулгын ачаалалтай байдаг онцлогийг бодолцон дулааны сүлжээнд хэрэгцээний халуун усны халаагуурын холбох схемийг авч үзэх хэрэгтэй. Үүнд гуурсан буюу ялтсан халаагуурт цэвэр усны системийн усыг халаах замаар хэрэглээний халуун усыг бэлтгэнэ [2].

Хэрэглэгчдийн хэрэглээний шаардлагыг хангасан 60–65°C температуртай халуун ус тасралтгүй чанартай түгээхийн тулд эргэлтийн насосыг байнга ажиллуулах шаардлагатай, мөн дулааны эрчим хүчийг хэмнэхийн тулд шөнийн цагаар хэрэгцээний халуун усны температурыг 40°C хүртэл бууруулах арга хэрэглэж болно [1].

Түгээгдэж буй халуун усны температур тохируулгат хэмжээнээс хэт өндөр болоход хоногт хэрэглэгдэх дулааны эрчим хүчний хэмжээ нэмэгдэж, дамжуулах хоолойн доторх гадаргуу хурдан зэврч, ашиглалтын хугацаа нь богиносно. Харин бага температуртай ус нь хэрэглэгчдийн хэрэглээний шаардлагыг үл хангахгүйн зэрэгцээ, хэрэглэгчид крант онгойлгоход хөрсөн ус их хэмжээгээр гойжуулж усны үр ашиггүй хэрэглээ ихэснэ.

Иймд ус дулаан дамжуулах төвд автомат тохируулгын системийг нэвтрүүлснээр дулааны эрчим хүчний үр ашиггүй хэрэглээг бууруулах, эдийн засгийн үр ашигтай ажиллах боломжийг нэмэгдүүлнэ.

Манай орны хувьд дэд станцын автоматжуулалтад Дани улсад үйлдвэрлэгдсэн DANFOSS үйлдвэрийн ECL210 comfort [3] болон Швейцар улсад үйлдвэрлэгдсэн SIEMENS үйлдвэрийн RVD-145 [4] контроллеруудыг өргөн хэрэглэдэг.

ECL–210 контроллер нь үндсэн 7 төрлийн тохируулга хийгдэх боломжтой. Үүнд:

- цагийн хуваарьт горим;
- тогтмол хэмийн горим;
- хэмнэлтийн горим;
- хөлдөлтөөс хамгаалах горим;
- гар удирдлага горим;
- хүлээлтийн горим;
- эйр кондейшн гэсэн төрлөөс тохируулга хийгдэх боломжтой.

RVD-145 контроллер 5 төрлийн тохируулга хийгддэг. Үүнд:

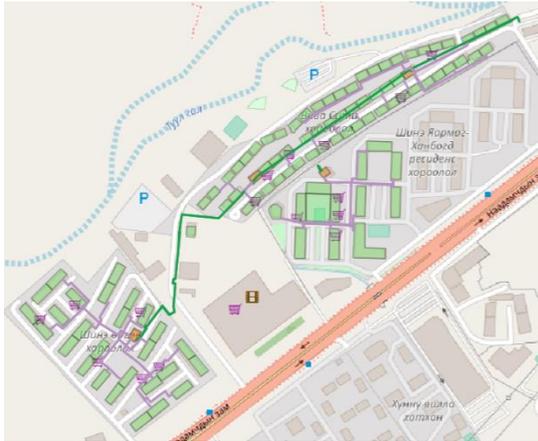
- автомат болон цагийн хуваарьт горим;
- цагийн хуваарийн бус халаалтын горим;
- хөлдөлтөөс хамгаалах горим;
- хэрэгцээний халуун усыг халаалтын горимоос үл хамаарч ажиллах болон
- хөлдөлтөөс хамгаалах горим гэсэн тохируулга хийгддэг [5].

Уг судалгааны ажлаар дээрх контроллеруудын хэрэглээний халуун усны температур тохируулах тохируулгын тодорхойломж дээр харьцуулсан судалгааг хийж, ECL-210 RVD-145 контроллерын тогтворжилтын чанарын үзүүлэлтийг тодорхойлов.

II. ТУРШИЛТЫН ОБЪЕКТЫН ТУХАЙ

Улаанбаатар хотын, Хан-Уул дүүрэгт байрлах ус дулаан дамжуулах 27, 30-р төвийн (УДДТ) автоматжуулалтын системд суурилагдсан ECL-210, RVD-145 автомат удирдлагын контроллеруудыг судалгааны объектоор сонгож авав.

УДДТ-30 нийт 66 орон сууцны барилга 1797 айл өрхийн 1621 аж ахуй нэгжийн халаалт, хэрэгцээний халуун хүйтэн усыг түгээдэг. УДДТ–30–ын суурилагдсан хүчин чадал 7.12 Гкал/ц, үүнээс халаалт 4.72 Гкал/ц хүчин чадалтай бөгөөд хэрэглээний халуун усны 2.39 Гкал/ц.



1-р зураг. 10Ж магистралд холбогдсон ХУД-30, ХУД-27-р ус дулаан дамжуулах төвийн байршлын зураг

ЦТП-1 хэрэглээний халуун усны эргэлтийн LEO LPP-40-31-4/2A маркийн 26м³/ц зарцуулалттай 31 м өргөх, цахилгаан насосны чадал 4 кВт 1 ширхэг насос Tranter GC-16Mx84 ялтсан дулаан солилцуур, ЦТП-2 TP65-240-4A маркийн 47.53м³/ц зарцуулалттай 19.8 м өргөх, цахилгаан насосны чадал 4 кВт 2 ширхэг насос, Tranter GC-16Mx84 ялтсан дулаан солилцуур болон бусад тоноглолуудаас бүрдэнэ.

УДДТ 30 – ын тоноглолуудын жагсаалт

1-р хүснэгт.

Тоноглол		Вива сити ЦТП-1	Вива сити ЦТП-2	
1	Халаалтын ялтсан бойлер	Марк	Tranter GC-16Mx50	Tranter GC-16Mx50
		Хүчин чадал	3.56 Гкал/ц	3.56 Гкал/ц
		Тоо /ш/	1	1
2	Халаалтын насос	Марк	TP 80-520/2A	TP 80-400/2A
		Түрэлт	42.4 м	34.7 м
		Бүтээмж	113.2 м3/ц	114.8 м3/ц
		Цах.насосны чадал	18.5 кВт	15 кВт
	Тоо /ш/	2	2	
3	Халаалт TCV хаалт	Марк	SKD.32.50	SKD.32.50
4	Давтамж хуваарилагч	Марк	MICROMAS TER 430 (SIEMENS)	SED2-30/32X (SIEMENS)
5	ХХУс ялтсан бойлер	Марк	Tranter GC-16Mx84	Tranter GC-16Mx84
		Хүчин чадал	2.75 Гкал/ц	2.75 Гкал/ц
		Тоо /ш/	1	1
6	Хэрэглээний халуун усны насос	Марк	LPP40-31-4/2A	TP 65-240-4A
		Түрэлт	31 м	19.8 м
		Бүтээмж	26 м3/ц	47.53 м3/ц
		Цах.насосны чадал	4 кВт	4 кВт
	Тоо /ш/	1	2	
7	ХХУс TCV хаалт	Марк	SKD.32.50	SKD.32.50

8	Давтамж хуваарилагч	Марк	-	-
9	Дулаанаар хангагддаг барилгын тоо		44	22
10	2-р хэлхээнд холбогдсон дулааны ачаалал		3.21 Гкал/ц	1.5 Гкал/ц
11	2-р хэлхээнд холбогдсон ХХУ ачаалал		1.87 Гкал/ц	0.52 Гкал/ц
12	2-р хэлхээнд холбогдсон дулааны зарцуулалт		104.62 т/ц	49.07 т/ц

Дулааны магистраль Ф300-ийн шугамаас Ф200-ийн ган хоолойгоор ус дулаан дамжуулах төвийн нэгдүгээр контор тэжээгдэж 2 дугаар хэлхээний дулааны худаг 1-8 хооронд Ф100-65 болж нарийссаар 2192 метр ган хоолойгоор хэрэгцээний халуун ус түгээдэг.

УДДТ – 27 нийт 28 орон сууцны барилга 1070 айл өрх 22 аж ахуй нэгжийн халаалт, хэрэгцээний халуун хүйтэн усыг түгээдэг. УДДТ-27-ын суурилагдсан хүчин чадал нь 7.22 Гкал/ц, үүнээс халаалт нь 3.39 Гкал/ц хүчин чадалтай бөгөөд хэрэглээний халуун усны 3.83 Гкал/ц.

ЦТП-1 хэрэглээний халуун усны эргэлтийн TP65-550/2A маркийн 63.8 м³/ц зарцуулалттай 47.4м өргөх, цахилгаан насосны чадал 11 кВт 2 ширхэг насос, VM1000B-4T015GB/18R5PB SAJ давтамж хувиргуур, FM10MDH-1.6-26.86C ялтсан дулаан солилцуур, ЦТП-2 TP65-340/2A маркийн 49.1 м3/ц зарцуулалттай 28 м өргөх, цахилгаан насосны чадал 5.5 кВт 2 ширхэг насос, M10MC ялтсан дулаан солилцуур болон бусад тоноглолуудаас бүрдэнэ.

УДДТ 27 – ын тоноглолуудын жагсаалт

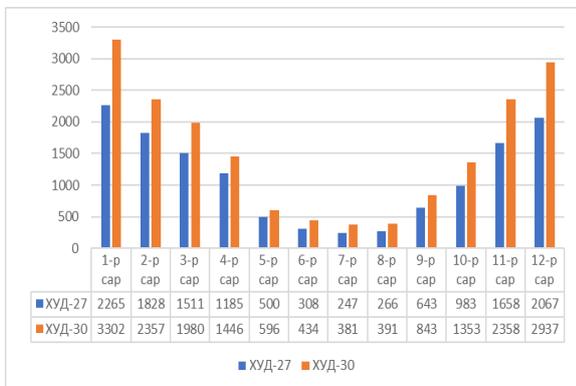
2-р хүснэгт.

Тоноглол		Шинэ өргөө ЦТП-1	Шинэ өргөө ЦТП-2	
1	Халаалтын ялтсан бойлер	Марк	FM10MDH-1.6-19.38-C	M10MC
		Хүчин чадал	2.58 Гкал/ц	1.72 Гкал/ц
		Тоо /ш/	2	2
2	Халаалтын насос	Марк	TP65-550/2A	TP65-550/2A
		Түрэлт	47.4 м	40.3 м
		Бүтээмж	63.8 м3/ц	56.9 м3/ц
		Цах.насосны чадал	15 кВт	11 кВт
	Тоо /ш/	2	2	
3	Халаалт TCV хаалт	Марк	AWV-55	AWV-55
4	Давтамж хувиарилагч	Марк	131L9870 (Danfoss)	131L9869 (Danfoss)
5	ХХУс ялтсан бойлер	Марк	FM10MDH-1.6-26.86C	M10MC
		Хүчин чадал	2.58 Гкал/ц	1.72 Гкал/ц
		Тоо /ш/	2	2
6	Хэрэглээний халуун усны насос	Марк	TP65-550/2A	TP65-340/2A
		Түрэлт	47.4 м	28 м
		Бүтээмж	63.8 м3/ц	49.1 м3/ц
		Цах.насосны чадал	15 кВт	5.5 кВт
	Тоо /ш/	2	2	

7	ХХУс TCV хаалт	Марк	AWV-56	AWV-56
8	Давтамж хувиарлагч	Марк	VM1000B-4T015GB/18R 5PB	-
9	Дулаанаар хангагддаг барилгын тоо		18	10
10	2-р хэлхээнд холбогдсон дулааны ачаалал		2.38 Гкал/ц	1.31 Гкал/ц
11	2-р хэлхээнд холбогдсон ХХУ ачаалал		2.06 Гкал/ц	1.45 Гкал/ц
12	2-р хэлхээнд холбогдсон дулааны зарцуулалт		74.9 т/ц	53.8 т/ц

Дулааны магистраль Ф200-н шугамаас Ф150-ийн ган хоолойгоор ус дулаан дамжуулах төвийн нэгдүгээр контор тэжээгдэж 2 дугаар хэлхээний дулааны худаг 1-7 хооронд Ф150-50 болж нарийссаар 858.97 метр ган хоолойгоор хэрэгцээний халуун ус түгээдэг.

2023 онд УДДТ 27, 30-ын дулааны ачааллыг 2-р зурагт үзүүлэв.



2-р зураг. УДДТ 27, 30-ын дулааны ачаалал

III. Онолын хэсэг

ECL-210 RVD-145 контроллерууд нь тохируулгын ПИД хуулиар ажилладаг. ПИД контроллерыг технологийн процесст өргөн хэрэглэдэг.

Аливаа системийн гаралт $y(t)$ буюу шилжилтийн тодорхойломжид автомат удирдлагын системийн чанарын үзүүлэлтийг илтгэх үндсэн дөрвөн үзүүлэлт байдаг. Үүнд:

- 1) Өгсөх хугацаа
- 2) Хэт тохируулга
- 3) Тогтворжиж эхэлсэн хугацаа
- 4) Системийн алдаа

Эдгээр үзүүлэлтүүд ПИД контроллерын коэффициентуудад хэрхэн нөлөөлж болохыг 1-р хүснэгт харуулав.

ПИД КОНТРОЛЛЕРЫН ЧАНАРЫН ҮЗҮҮЛЭЛЭТ

1-Р ХҮСНЭГТ.

ПИД	Өгсөх хугацаа	Хэт тохируулга	Тогтворжиж эхэлсэн хугацаа	Алдаа
П	Буурна	Өснө	Бага өөрчлөгдөнө	Буурна
И	Буурна	Өснө	Өснө	Арилгах

ПИД	Өгсөх хугацаа	Хэт тохируулга	Тогтворжиж эхэлсэн хугацаа	Алдаа
Д	Бага өөрчлөгдөнө	Буурна	Буурна	Өөрчлөгдөхгүй

1-р хүснэгт дүгнэвэл П контроллер нь өгсөлтийн хугацааг бууруулах боловч хэзээ ч системийн алдааг арилгаж чадахгүй. И контроллер нь системийн алдааг арилгах боловч энэ нь түр зуурын арга хэмжээ юм. Д контроллер нь системийн тогтворжилт, найдвартай ажиллагааг дээшлүүлдэг мөн хэт тохируулгыг багасгадаг сайн талтай [6].

Контроллеруудын автомат удирдлагын системийн тогтворжилтын тооцоог 1 хүрээт ПИД хуулиар хийв [7].

Дамжуулалтын функц нь:

$$Wu(p) = \frac{Kue^{-\tau}}{(T_n p + 1)^2} \quad (1)$$

Объектын комплекс давтамжийн тодорхойломж:

Объектын КДТ-н далайц давтамжийн тодорхойломж:

$$A = \frac{Ku}{\sqrt{T_n^2 * \omega^2 + 1}} \quad (2)$$

Объектын КДТ-н фаз давтамжийн тодорхойломж:

$$\varphi_r = -\arctg(T_n * \omega) \quad (3)$$

$$\varphi_r = -(\tau * \omega) \quad (4)$$

Объектийн фаз давтамжийн тодорхойломжийн илэрхийлэл нь:

$$\varphi(\omega) = -\tau * \omega - \arctg(T_n * \omega) \quad (5)$$

$\Phi(\omega)$ -н уламжлал нь дараах илэрхийлэлээр тодорхойлогдоно

$$\varphi(\omega) = \tau + \frac{T_n}{(1 + T_n * \omega)^2} \quad (6)$$

Одоо w бопон $\varphi(\omega)$ хамааруулан T_i^{OH} α^{OH} -н утгуудыг тус тус тодорхойлвол.

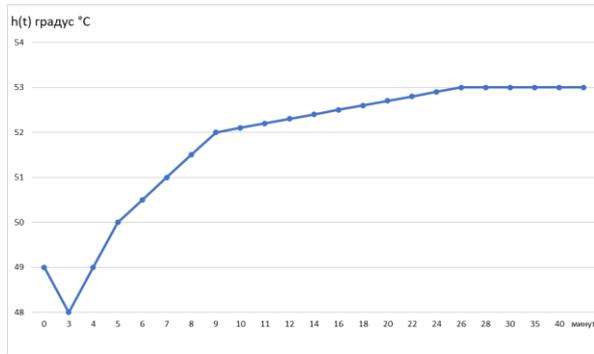
$$T_i^{OH} = \frac{2}{\omega^2 * \varphi'(\omega)} \quad (7)$$

$$\alpha^{OH} = \frac{2}{(\omega * T_i^{OH})^2} \quad (8)$$

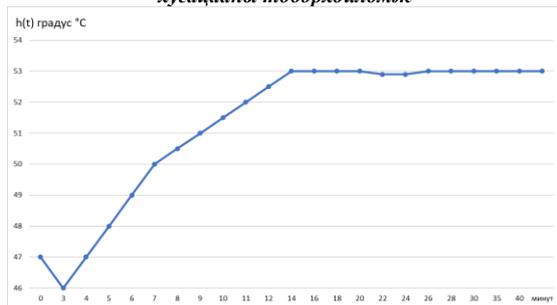
IV. СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН ҮР ДҮН

Уг судалгааны ажилд ашиглагдах температурын муруйг гаргаж авахын тулд 2023 оны 10-р сарын 31-ны 15 цагаас 17 цаг хооронд ECL-210 контроллер ба RVD-145 контроллеруудын хэрэглээний халуун усны насосуудыг зогсоож 30 минутын дараа ажиллагаанд залгаж цочир үйлчлэл үзүүлсний дараа хэрэглээний халуун усны градус 53°C хүрч температур тогтворжих хүртэлх хугацаа, хэмжигдэхүүний өөрчлөлтийг тогтмол хугацаанд тэмдэглэн авч хөглөлтийн оновчтой утга, болон тогтворжилтийн хугацааг тооцох болно.

Туршилт хийгдсэн объектуудын температур тохируулгын шилжилтийн муруйг 3, 4-р зурагт үзүүлэв.

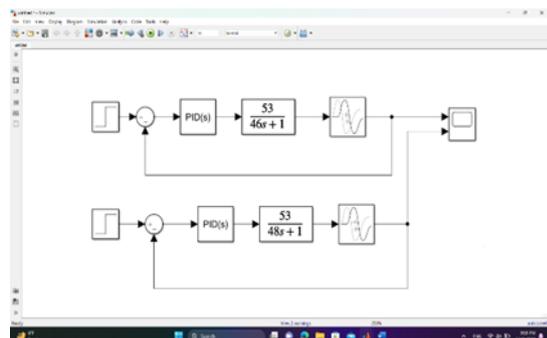


3-р зураг. Danfoss үйлдвэрийн ECL-210 comfort контроллерын хугацааны тодорхойломж

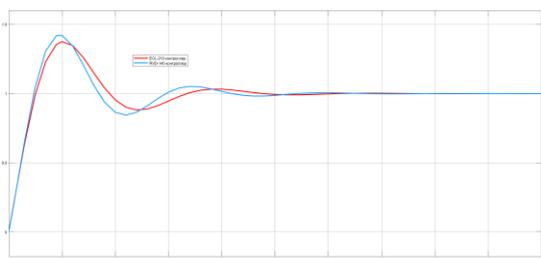


4-р зураг. SIEMENS үйлдвэрийн RVD-145 контроллерын хугацааны тодорхойломж

Судалгаанд ашиглагдах ECL 210 контроллерын $T_1=46$, $K=53$, $\tau=2.42$ утгуудад хөглөлтийн оновчтой утгуудад, RVD-145 контроллерын $T_1=48$, $K=53$, $\tau=3.18$ утгуудад хөглөлтийн оновчтой утга болон тогтворжилтийн хугацааг тооцож матлаб программ хангамжийн Sumilink model дээр загварчилж, хоёр контроллерыг харьцуулсан туршилт хийв. Матлаб программ хангамжийн Sumilink model-д загварчилал хийсэн үр дүнг 5, 6-р зурагт үзүүлэв.



5-р зураг. Матлаб программ ашиглан загварчилал гаргав.



6-р зураг. Матлаб программ SIMULINK ашиглан гаргаж авсан үр дүн

Тооцооны үр дүнд ECL-210 контроллерын хөглөлтийн оновчтой утга $K_p=0.16$ $T_i=6.75$, $T_d=1.68$ RVD-145 контроллерынх $K_p=0.13$ $T_i=8.25$ $T_d=1.65$ гэж тодорхойлогдов.

Матлаб программаар автомат тохируулгын шилжилтийн тодорхойломжийг байгуулж шинжилгээ хийхэд тогтворжилтын хугацаа, унтралтын зэрэг нь ECL-210 контроллер $\psi=0.91$, RVD-145 контроллер $\psi=0.88$, болж байна.

Уг тооцооноос харахад ECL-210, RVD-145 удирдлагын контроллерын тохируулагдах хугацаа болон чанарын тохируулга зөрүү багатай ойролцоо харагдаж байна.

V. ДҮГНЭЛТ

1. Уг судалгааны ажлаар Хан-Уул дүүрэгт байрлах УДДТ 27, 30 –ын дэд станцын автомат тохируулгын системийн удирдлагын контроллерууд болох ECL-210, RVD-145 контроллеруудын тохируулгын чанарын харьцуулсан судалгааг хийж үзэв.
2. ECL210 comfort болон RVD-145 контроллеруудын хэрэглээний халуун усны температурын муруйг туршилтаар гарган авч автомат удирдлагын системийн тогтворжилтын хугацааг 1 хүрээт ПИД хуулиар тооцоо хийж контроллерын K_p , T_i , T_d оновчтой утга тодорхойлж, Матлаб программ хангамжийн Sumilink model-д загварчилав.
3. Тооцооны үр дүнгээс харахад контроллеруудын тогтворжилтын хугацаа, унтралтын зэрэг нь ECL-210 контроллерын хувьд $\psi=0.91$, RVD-145 контроллерын хувьд $\psi=0.88$ байгаа нь тохируулгын чанарын зөрүү багатай харагдаж байна.

VI. АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

- [1] Ц. Эрдэнэцэцэг, Ц. Жамбалсамбуу, Д. Түвшинбаатар, Д. Даваадорж “Технологийн процессын автоматжуулалт” . Улаанбаатар, 2006 он
- [2] Б. Намхайням, “Дулаан хангамжийн систем” Улаанбаатар хот, 2019 он.
- [3] <https://www.danfoss.com/en/>
- [4] <https://www.siemens.com/global/en.html>
- [5] Т. Магванжав, Ш. Мөнхжаргал, Б. Оргил “Автомат удирдлагын системийн ашиглалтын заавар-1” Улаанбаатар хот, 2018 он.
- [6] Ц. Энхтүвшин “ Ялтсан халаагуурын автомат тохируулгад интеграл ханалтын контроллер ашигласан харьцуулсан судалгаа” Улаанбаатар хот, 2020он.
- [7] Д. Түвшинбаатар, Д. Даваадорж, Д. Үлэмж, О. Чимэд “Олон хүрээт автомат тохируулгын системийн тооцоо” Улаанбаатар хот, 2023 он

ТЕРМОЭЛЕКТРИК МОДУЛЬТАЙ КАРНО БАТАРЕЙНЫ ТУРШИЛТЫН СУДАЛГАА

О.Рэнцэнбат¹, М.Ганхүлэг²

Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Шинэ, Сэргээгдэх эрчим хүчний салбар

*Холбогдох зохиогчийн и-мэйл хаяг: rentsenbat0825@gmail.com¹, gankhuleg@must.edu.mn²

Хураангуй - Сүүлийн жилүүдэд нүүрстөрөгчийн ялгарлыг багасгах замаар сэргээгдэх эрчим хүчийг нэвтрүүлэх ажилд ахиц дэвшил гарч байна. Нарны болон салхины эрчим хүчний үйлдвэрлэлийн гарц нь улирал, цаг агаарын байдлаас шалтгаалан ихээхэн хэлбэлздэг нь тогтвортой эрчим хүчээр хангахад хүндрэл учруулдаг. Тиймээс сэргээгдэх эрчим хүчийг ашиглан эрчим хүчний хангамжийг тогтворжуулах шаардлагатай байгаа бөгөөд энэ удаа эрчим хүч хадгалах системийн нэгэн төрөл болох Карно батареийг онцолж байна. Энэ систем нь цахилгааныг дулааны энерги болгон хувиргаж, дулааныг дулаан хадгалах материалд хадгалдаг. Дараа нь хадгалсан дулааныг цахилгааны энерги болгон хувиргадаг. Карно батареийн үндсэн системд компрессор, турбин, дулаан хадгалах сав гэсэн бүтэцтэй байдаг. Эдгээр нь системийг нарийн төвөгтэй болгохоос гадна өндөр өртөгтэй байдаг. Харин энэ удаад бид Карно батареийн ерөнхий суурь зарчмыг ашиглан термоэлектрик модуль (ТЕМ) болон фазын өөрчлөлтийн материалыг хослуулсан Шинэ Карно батареийг санал болгож байна. Туршилтыг үндсэн системийн нэгэн адил цэнэглэх буюу цахилгааныг дулаан болгох, дулааныг хадгалах, үл цэнэглэх буюу хуримтлагдсан дулааныг цахилгаан болгох гэсэн гурван үе шаттай байна. Уг систем нь зарчмын дагуу ажилласан ба температурын зөрүү 17.1 °C байсан бөгөөд циклийн үр ашиг 0.23%-д байв. Энэ нь батареийг цэнэглэх явцад хуримтлагдсан дулааныг ашиглан цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэх чадвартай болохыг баталж байна.

Түлхүүр үг— Термоэлектрик модуль, Карно батареий, Эрчим хүч хадгалах систем

I. УДИРТГАЛ

Сүүлийн жилүүдэд нүүрстөрөгчийг ангижруулах замаар сэргээгдэх эрчим хүчийг нэвтрүүлэх ажил ахиц дэвшил гарч байна. Эдгээрээс Зураг 1-д харуулснаар, нарны болон салхины эрчим хүчний үйлдвэрлэлийн гарц нь улирал, цаг агаарын байдлаас шалтгаалан ихээхэн хэлбэлздэг [1] нь тогтвортой эрчим хүчний хангамжийг хангахад хүндрэл учруулдаг [2]. Үүний шийдлүүдийн нэг болох эрчим хүч хадгалах систем (Energy Storage System:ESS) шаардлагатай [3].



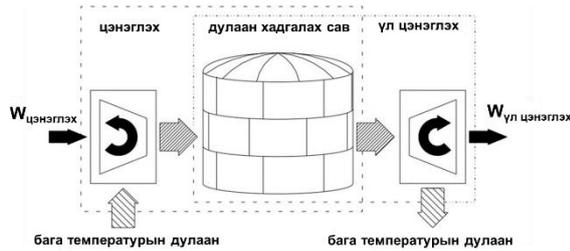
1-р зураг. Нар, салхины эрчим хүчний үйлдвэрлэлийн хэлбэлзэл [1]

Эрчим хүч хадгалах систем нь батареий болон эрчим хүчний хяналтын системийг хослуулсан байгууламж бөгөөд эрчим хүчний хэрэгцээний нөхцөл байдалд тохируулан эрчим хүчийг хуримтлуулж, эрчим хүчний сүлжээний ачааллыг жигдрүүлж, сэргээгдэх эрчим хүчийг тогтвортой ашигладаг систем юм. Энэхүү систем нь цахилгаан эрчим хүчний нийлүүлэлт их буюу эрэлт бага үед илүүдэл цахилгааныг хуримтлуулж, цахилгаан эрчим хүчний нийлүүлэлт бага эсвэл эрэлт ихтэй үед хуримтлагдсан цахилгааныг системд нийлүүлдэг.

Эрчим хүч хадгалах систем нь устөрөгчийн энергийн хуримтлал гэх мэт шахуургатай усан

цахилгаан эрчим хүчний хуримтлал (Pumped hydroelectric energy storage: PHES) зэрэг механик эрчим хүчний системүүд болон химийн системүүдийг агуулдаг. Энэхүү систем нь цахилгаан эрчим хүчнээс гаргаж авсан дулаанаас гадна эрчим хүч үйлдвэрлэх төхөөрөмж, үйлдвэр гэх мэтээс ялгарах үйлдвэрийн хаягдал дулааныг ашиглах боломжтой бөгөөд ингэснээр үр ашиггүй зарцуулагдах эрчим хүчийг үр дүнтэй ашиглах боломжтой болно. Цахилгаан дулааныг хослуулан ашиглах энэхүү ойлголтыг салбарын хамаарал гэж нэрлэдэг бөгөөд дулаан хадгалах систем нь эрчим хүч хэмнэх үүднээс олны анхаарлыг татаж байна.

Энэ судалгаанд бид дулаан хадгалах системүүдийн нэг болох Карно Батареийг онцолсон [4] [5]. Карно батареий нь цахилгааныг дулаан болгон хувиргаж, хуримтлуулж, шаардлагатай үед хуримтлуулсан дулааныг цахилгаан болгон үйлдвэрлэдэг систем юм. Энэхүү систем нь цэнэглэх төхөөрөмж, үл цэнэглэх төхөөрөмж, дулаан хадгалах сав [6] гэсэн гурван бүрэлдэхүүн хэсгээс бүрдэнэ. Цэнэглэх төхөөрөмж нь цахилгааныг дулаан болгон хувиргаж, дулааныг дулааны хуримтлалын системд хуримтлуулж, үл цэнэглэх төхөөрөмж нь хуримтлагдсан дулааныг цахилгаан болгон хувиргадаг. Зураг 2-т үзүүлснээр систем нь дулааныг хуримтлуулахын тулд компрессор, хуримтлуулсан дулааныг цахилгаан болгон хувиргах турбиныг ашигладаг. Эдгээр нь системийг нарийн төвөгтэй болгохоос гадна олон бүрэлдэхүүн хэсэгтэй. Тиймээс системийг хялбарчлахад хүндрэлтэй байдаг.



Зураг 2 Карно Батарейн бүтэц [5]

II. ШИНЭ КАРНО БАТАРЕЙ

Ялангуяа эрчим хүч үйлдвэрлэх тоног төхөөрөмжийн хувьд сүүлийн жилүүдэд нүүрстөрөгчийн ялгарлыг багасгаж, байгаль орчинд сөрөг нөлөө багатай төхөөрөмжүүдийн эрэлт хэрэгцээ нэмэгдэж байгаатай холбогдуулан тэдгээрийг үйлдвэрлэлийн хаягдал дулааныг ашиглан эрчим хүч үйлдвэрлэхэд ихэвчлэн ашигладаг бөгөөд төхөөрөмжүүдийн гүйцэтгэлийг сайжруулах судалгаа идэвхтэй явагдаж байна [7] [8] [9].

Тиймээс энэхүү судалгаанд бид Термоэлектрик модуль (ТЕМ) болон дулаан хадгалах материалыг хослуулсан Шинэ Карно батареийг санал болгож байна. Санал болгож буй Карно батареид ТЕМ нь компрессор ба турбины үүрэг гүйцэтгэдэг бөгөөд энэ нь бүтцийг хялбарчилж, системийн бүрэлдэхүүн хэсгүүдийн тоог бууруулдаг. ТЕМ нь Пельтье болон Зейбек эффектийг ашиглан дулаан, цахилгааныг харилцан хувиргах төхөөрөмж юм. Пельтье эффектийг ашиглан цахилгаан дулааны хувиргалт хийх тохиолдолд ТЕМ-д цахилгаан хүчийг оруулж, дулааны насосыг удирдах замаар ТЕМ-ийн хоёр талд температурын зөрүү үүсдэг. Нөгөөтээгүүр, Зейбек эффект ашиглан дулааны цахилгаан хувиргалт хийх үед ТЕМ-ийн хоёр талд температурын зөрүүг бий болгосноор цахилгаан эрчим хүч үүсгэж болно.

Бид ТЕМ болон дулаан хадгалах материалыг эрчим хүч хадгалах технологи болгон хослуулсан Шинэ Карно батареийн системийн техник эдийн засгийн үндэслэл, цэнэглэх/үл цэнэглэх шинж чанарыг судалсан бөгөөд энэ нь системийг хялбарчилж, найдвартай байдлыг сайжруулах болно. Өөрөөр хэлбэл, энэ шинэ систем нь зарчмын дагуу Карно батареийн үүргийг гүйцэтгэж байгаа эсэхийг баталгаажуулах үндсэн туршилт юм. Тодруулбал, бид цэнэглэх/үл цэнэглэх төхөөрөмжийн үүрэг гүйцэтгэдэг ТЕМ-ийг дулаан хадгалах материалтай хослуулж, цэнэглэх, үл цэнэглэх явцад температурын шинж чанар, циклийн үр ашгийг үнэлэв.

III. Туршилтын нөхцөл

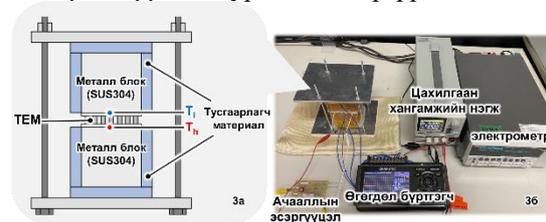
Туршилтанд дулаан хадгалах материалыг ТЭМ-ийн өндөр даралтын буюу халах тал, нам даралтын буюу хөрөх хэсгүүдэд суурилуулж, туршилтын төхөөрөмжийг бэлтгэж, туршилт хийсэн. Энэ удаагийн туршилтанд дулаан хадгалах материалаар 50мм зузаантай SUS304 материалыг сонгосон. ТЭМ-ийн хоёр талын гадаргуу дээр металл блок суурилуулах үед ТЭМ-ийн өндөр болон нам талын температур, ачааллын эсэргүүцэл дэх ажиллах

хүчдэл, ашиглалтын гаралт, нэгдсэн эрчим хүчний үйлдвэрлэл зэргийг хэмжиж, системийн гүйцэтгэлийг циклийн үр ашгаар үнэлэв. Циклийн үр ашгийг тооцоолох аргыг 1.2-р томьёогоор тайлбарласан болно. Туршилтанд ашигласан материалын физик шинж чанарыг хүснэгт 1-д үзүүлэв.

ТУРШИЛТАНД АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛЫН ФИЗИК ШИНЖ ЧАНАР

1-Р ХҮСНЭГТ		
SUS 304 t50		
Дулаан дамжуулалт	[W/m·K]	16.3
Тодорхой дулаан	[J/g·K]	0.59
Дулаан багтаамж	[J/K]	601.5
Хэмжээ	[mm ³]	50 × 50 × 50

Туршилтын систем болон туршилтын төхөөрөмжүүдийг Зураг 3а, б-д үзүүлэв.



Зураг 3а,б Үндсэн систем ба төхөөрөмж

Зураг 3а-д туршилтын үндсэн систем ба үүнд ТЕМ, Металл блок (SUS304) болон дулаан тусгаарлагч материал багтана. Тусгаарлагч материал нь дулааны алдагдлыг дарахын тулд металл блокыг дулаан тусгаарлагч материалаар бүрсэн. Харин зураг 3б-д туршилтын төхөөрөмжүүд байх ба үүнд нь цахилгаан хангамжийн нэгж, өгөгдөл бүртгэгч, цахилгаан хэмжигч, ачааллын эсэргүүцэл, терморпар зэргээс бүрдэнэ.

Эрчим хүчний хангамжийн нэгж нь ТЭМ-д холбогдсон байх бөгөөд цэнэглэх явцад 3 минутын турш 10 Вт хүчээр тэжээнэ. Энэ туршилтаар системийг хялбарчлахын тулд бид дулаан хадгалах хугацааг тогтоогоогүй бөгөөд цэнэглэсний дараа шууд цэнэггүй болгох буюу үл цэнэглэх горимд шилжүүлсэн. Цэнэглэх явцад дулааны насосыг ажиллуулахын тулд цахилгаан эрчим хүчийг ТЭМ-д өгч, нам температурын талаас өндөр температурт шахагдсан дулааныг дулаан хадгалах материалд хадгалдаг. Үл цэнэглэх явцад хадгалсан дулаанд үндэслэн ТЭМ-ийн нам температур ба өндөр температурын хоорондох температурын зөрүүг ашиглан эрчим хүч үйлдвэрлэдэг. Туршилтын нөхцөлийн дэлгэрэнгүйг Хүснэгт 2-т үзүүлэв.

ТУРШИЛТЫН НӨХЦӨЛ

		2-р ХҮСНЭГТ
Орчны температур	[°C]	21.5
Конвекцийн төрөл	[N/A]	Энгийн
ТЕМ-г цэнэглэх чадал	[W]	10
Цэнэглэх хугацаа	[сек]	180
Үл цэнэглэх үеийн ТЕМ-ийн ачааллын эсэргүүцэл	[Ω]	1, 2, 4.7

IV. ТУРШИЛТЫН ТООЦООНЫ АРГА

Цэнэглэх, үл цэнэглэх явцад ТЕМ-ийн хоёр талын температурын өөрчлөлтийг (T_h -Өндөр даралтын буюу халах, T_l -Нам даралтын буюу хөрөх) термопараар хэмжиж, үл цэнэглэх үед ачааллын резистор ($R_{load} = 1\Omega, 2\Omega, 4.7\Omega$), ТЕМ-д холбогдсон ба түүн дээрх ажиллах хүчдэлийг цахилгаан хэмжигчээр хэмжиж, ТЕМ-ийн эрчим хүчний үйлдвэрлэлийн гаралтыг дараах томъёогоор тооцоолсон.

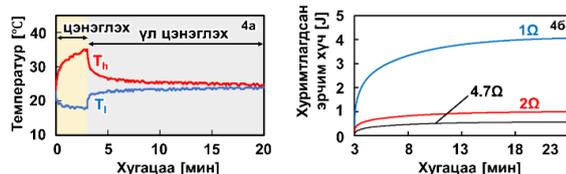
$$P_{load} = \frac{V_{load}^2}{R_{load}} \quad (1)$$

Энд P_{load} нь хүч [W], V_{load}^2 нь ачааллын эсэргүүцэл дэх ажиллах хүчдэл [V], R_{load} нь ачааллын эсэргүүцэл [Ω] юм.

Циклийн үр ашгийг доорх тэгшитгэлд үзүүлсний дагуу цэнэглэх явцад хуримтлагдсан эрчим хүчний үйлдвэрлэл болон үл цэнэглэх явцад зарцуулсан эрчим хүчний хэрэглээний харьцаагаар тодорхойлно.

$$\text{Циклийн үр ашиг} = \frac{\text{эрчим хүчний үйлдвэрлэл}}{\text{эрчим хүчний хэрэглээ}}$$

V. ҮР ДҮН



4-р зураг а,б Туршилтын үр дүн

Зураг 4а-г харахад ТЕМ-ийн хоёр талын температурын өөрчлөлтийг харуулж байна. Харин 4б-д эрчим хүчний үйлдвэрлэлийн хуримтлагдсан хэмжээг харуулж байна. Цэнэглэх явцад хамгийн их температурын зөрүү 17.1 °C байсан. Хүснэгт 3-г харуулснаар ачааллын эсэргүүцэл 1 Ом байх үед эрчим хүч үйлдвэрлэх хамгийн дээд хэмжээнд хүрсэн нь батарейг цэнэглэх явцад хуримтлагдсан дулааныг ашиглан цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэх чадвартай болохыг баталж байна. Циклийн үр ашгийг эрчим хүчний хэрэглээ болон эрчим хүч үйлдвэрлэх харьцаагаар тодорхойлсон. Ачааллын эсэргүүцэл 1Ω буюу 0.23% байх үед хамгийн их утгад хүрсэн.

ТУРШИЛТЫН ҮР ДҮН

		3-р ХҮСНЭГТ		
Ачааллын эсэргүүцэл	[Ω]	1.0	2.0	4.7
Хуримтлагдсан эрчим хүч	[J]	4.11	1.00	0.572
Циклийн үр ашиг	[%]	0.23	0.056	0.032

VI. ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгаагаар бид ТЕМ ашиглан Шинэ Карно батарейны системийг судалж, түүний цэнэглэх, үл цэнэглэх шинж чанарыг тодруулах үндсэн туршилтуудыг хийсэн. Металл блок (SUS304 t50)-г ашигласан үр дүнд температурын зөрүү 17.1 °C байсан бөгөөд циклийн үр ашиг 0.23%-д байв. Дээрх үр дүнгээс бид ТЕМ-ийг цэнэглэх/үл цэнэглэх төхөөрөмж болгон ашигладаг энэхүү Карно батарей нь үндсэн зарчмын дагуу ажилласан боловч циклийн үр ашиг бага байв.

Цаашид бид циклийн үр ашгийг дээшлүүлэхийн тулд нарийвчилсан шинжилгээг хийж, дулаан хадгалах материалын бусад төрлүүдийг нэмж судлах, Карно батарейнд аналитик загвар ашиглан туршилт, оновчлол хийх зэргээр илүү гүнзгий судлах шаардлагатай байна.

VII. АШИГЛАСАН ХЭВЛЭЛ

- [1] Kanjun Zhang, Hubin Zhou, Hengxuan Li, Aihong Tang and Chen Li “Composite power system risk evaluation considering the accurate model of renewable energy power output,” *Energy reports*. 9, pp. 1861–1874, 2023, doi: 10.1016/j.egyр. 2023. 04. 232.
- [2] Philipp Vinnemeiera, Manfred Wirsuma, Damien Malpierceb, and Roberto Boveb “Integration of heat pumps into thermal plants for creation of large-scale electricity storage capacities,” *Appl. Energy*, vol. 184, pp. 506–522, 2016, doi: 10.1016/j.apenergy. 2016. 10. 045.
- [3] Ruoxuan Fan, Huan Xi “Exergoeconomic optimization and working fluid comparison of low-temperature Carnot battery systems for energy storage,” *Jor. Eng. St.*, vol. 51, Art. 104453, 2022, doi: 10.1016/j.est. 2022. 104453.
- [4] Olivier Dumont, Guido Francesco Frate, Aditya Pillai, Steven Lecompte, Michel De paepe, and Vincent Lemort “Carnot battery technology: A state-of-the-art review,” *Jor. Eng. St.*, vol. 32, Art. 101756, 2022, doi: 10.1016/j.est. 2020. 1017563.
- [5] Wolf-Dieter Steinmann, Henning Jockenhöfer, and Dan Bauer “Thermodynamic Analysis of High-Temperature Carnot Battery Concepts,” *Energy. Tech.*, vol. 8, Issue. 3, 2019, doi: 10.1002/ente. 201900895.
- [6] Ting Liang, Andrea Vecchi, Kai Knobloch, Adriano Sciacovelli, Kurt Engelbrecht, Yongliang Li and Yulong Ding “Key components for Carnot Battery: Technology review, technical barriers and selection criteria,” *Appl. Energy*, vol. 163, no. 10, pp. 112–478, 2022, doi: 10.1016/j.rser. 2022. 11. 2478.
- [7] X. Gou, H. Xiao, and S. Yang, “Modeling, experimental study and optimization on low-temperature waste heat thermoelectric generator system,” *Appl. Energy*, vol. 87, no. 10, pp. 3131–3136, 2010, doi: 10.1016/j.apenergy. 2010. 02. 013.
- [8] X. Niu, J. Yu, and S. Wang, “Experimental study on low-temperature waste heat thermoelectric generator,” *J. Power Sources*, vol. 188, no. 2, pp. 621–626, 2009, doi: 10.1016/j.jpowsour. 2008. 12. 067.
- [9] X. Gou, S. Yang, H. Xiao, and Q. Ou, “A dynamic model for thermoelectric generator applied in waste heat recovery,” *Energy*, vol. 52, pp. 201–209, 2013, doi: 10.1016/j.energy. 2013. 01. 040.

10 МВТ-ЫН НАРНЫ ЦАХИЛГААН СТАНЦЫН ЗУРАГ ТӨСӨЛ

Б.Батдэлгэр, Б.Ганчимэг, П.Эрхэмтөр

Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургууль
Улаанбаатар хот, Монгол улс

*Холбогдох зохиогчийн и-мэйл хаяг: delger0321@gmail.com, ganchimeg070522@gmail.com

Хураангуй - Энэ судалгаагаар PVSYST программ хангамж болон AutoCAD программыг ашиглан сүлжээнд холбогдсон том чадлын (10МВт) нарны цахилгаан станц (НЦС)-ын зураг төслийг боловсруулах зорилготой. 10МВт-ын сүлжээнд холбогдох НЦС-ыг PVSyst программ хангамж ашиглан загварчилсан бөгөөд AutoCAD программыг ашиглан НЦС-ын зураг төслийг бүх стандартын дагуу боловсруулсан. Уг судалгаанд 10МВт-ын сүлжээнд холбогдох НЦС-ыг төлөвлөхөд шаардагдах бүхий л зарчмын схемүүд багтсан болно.

Түлхүүр үгс: Нарны цахилгаан станц, НЦС-ын ерөнхий төлөвлөлт болон AutoCAD зураг төслийн боловсруулалт.

I. ОРШИЛ

Өнөө үед уламжлалт эх үүсвэрүүд маш хурдацтай шавхагдаж байна. Түүнчлэн эрчим хүчний өртөг нэмэгдэж байгаа тул нарны эрчим хүч нь эрчим хүч үйлдвэрлэх, ашиглахад хамгийн хэмнэлттэй сэргээгдэх эрчим хүчний нэг болоод байна. Нарны эрчим хүчийг ашиглахад хэд хэдэн давуу талууд байна. Үүнд: барилга угсралтын хугацаа бага, уламжлалт эх үүсвэр ашиглахгүй, хүрээлэн буй орчин бохирдуулахгүй, сэргээгдэх эрчим хүч гэх мэт. Монгол улс нь газарзүйн байршлаас үүдэн фотоволтайк нарны эрчим хүчний системийг хөгжүүлэхэд маш сайхан нөхцөлтэй, жилийн 365 хоногийн 270-аас багагүй хоног нь нартай цэлмэг байдаг, мөн Монгол орны эрс тэрс уур амьсгал нь нарны дэлгэцэнд хэт халалт үүсэхээс хамгаалж байдаг зэрэг нь нарны эрчим хүчийг үр ашигтай ашиглахад тохиромжтой байдаг. Монгол орны нарны эрчим хүчийг өдөрт үйлдвэрлэх боломжийн талаарх судалгаагаар жилийн үйлдвэрлэх боломжит нарны эрчим хүчний нөөц нь нь 4.8 их наяд кВт.ц байна. Нарны модуль нь нарны гэрлийг шууд цахилгаан болгон хувиргах боломжийг олгодог бөгөөд энэ нь аюулгүй, найдвартай, засвар үйлчилгээ шаардахгүй байгаль орчинд ээлтэй эрчим хүчний эх үүсвэрийг урт хугацаанд ашиглах боломжийг давхар олгож байна. Цаг уурын янз бүрийн нөхцөлд нарны системийг амжилттай хэрэгжүүлэхэд нарны станцын ерөнхий төлөвлөлт болон ашиглагдаж буй бүх тоног төхөөрөмжийн талаарх хангалттай мэдлэгтэй байхыг шаардаж байна.

СИСТЕМИЙН ЗАГВАРЧЛАЛ БОЛОН ЗОРИЛТ

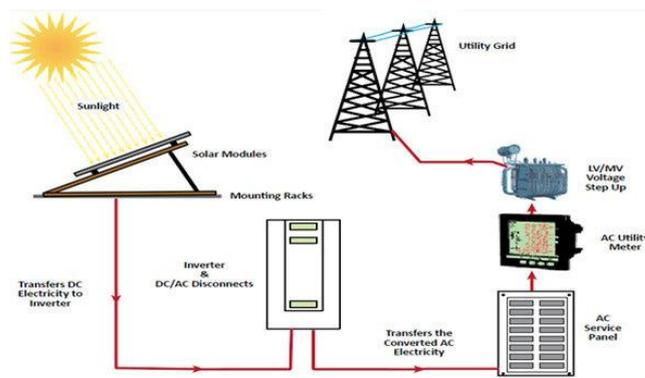
10МВт-ын хүчин чадалтай НЦС-ын зураг төслийг цахилгаан байгууламжийн дүрэм, стандартад нийцүүлэн боловсруулах судалгааг хийсэн. Мөн, НЦС-ын ерөнхий төлөвлөлтийн зорилго нь эрчим хүчний системийн хэрэглэгчдэд үзүүлэх хамгийн бага зардал болон хэрэглэгчийн ачааллын хэрэгцээнд зохих ёсоор тохируулах явдал юм. Дээрх зүйлсийг бий болгохын

тулд зураг төслийн зохиогч системийн талаар дараах зүйлсийг мэдэж байх шаардлагатай. Үүнд:

(1) Эрчим хүчний шаардлага, (2) Нарны эрчим хүчний өгөгдөл, (3) Шаардлагатай НЦС-ын хэмжээ болон төрөл, (4) Үйлдвэрлэсэн эрчим хүчний өртөг, (5) НЦС-ын амьдрах хугацаа, (6) Системийн шинж чанар, (7) Системийн шаардлага, (8) Зураг төслийн оновчтой байдал, (9) Эдийн засгийн үр ашигтай байдал

II. СҮЛЖЭЭНД ХОЛБОГДОХ НЦС-ЫН ТОДОРХОЙЛОЛТ

Фотоволтайк (PV) нь нарны гэрлийг шууд цахилгаан энерги болгон хувиргах үйл явцыг хэлнэ. PV систем нь сүлжээнд холбогдоогүй (айл өрхийн хэрэглээ болон ахуйн хэрэглээ) мөн сүлжээнд холбогдсон (төвлөрсөн болон түгээх) гэх мэт янз бүрийн байдлаар хэрэглэгдэж байна. Энэхүү судалгааны ажлаар 10МВт чадалтай төвлөрсөн сүлжээнд холбогдох нарны цахилгаан станцын тухай авч үзэх болно.



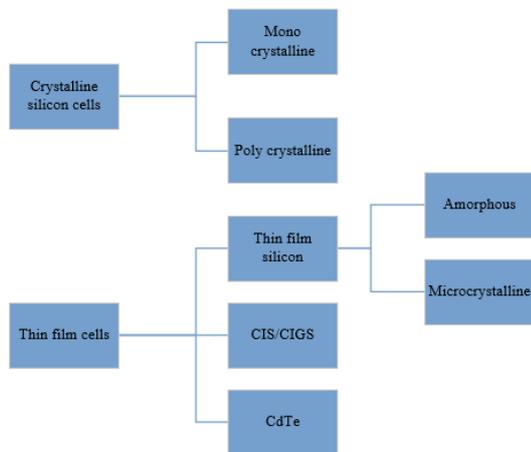
1-р зураг. НЦС-ын ерөнхий байдал

НЦС-ЫН ТОГТМОЛ ГҮЙДЛИЙН БҮРЭЛДЭХҮҮН ХЭСГҮҮД

- Нарны PV модулиуд

Нарны эрчим хүчний тэжээлийн элемент нь НЦС-ын үндсэн материал юм. Хагас дамжуулагч нарны эрчим

хүчний тэжээлийн элемент нь нарны гэрлийг тогтмол гүйдлийн цахилгаан энерги болгон хувиргадаг. Нарны эрчим хүчний тэжээлийн элемент нь жижиг хэмжээтэй бөгөөд хэдхэн Ватт эрчим хүч үйлдвэрлэх чадалтай. Гэсэн хэдий ч, НЦС-ууд нь хэдэн Ватт-аас хэдэн арван Мегаватт хүртлэх эрчим хүчийг бий болгохын тулд нарны эрчим хүчний тэжээлийн элементүүдийг нэгтгэж, модулчилдаг. Нарны эрчим хүчний тэжээлийн элементийн цахилгаан шинж чанараас нь шалтгаалан тэдгээрийн үйлдвэрлэл нь цөөн тооны түүхий эдээр хязгаарлагддаг. Түүхий эд бүр нь нарны эрчим хүчний тэжээлийн элементийн модулийн гүйцэтгэл, үйлдвэрлэлийн явц, болон өртөгт нөлөөлдөг өвөрмөц шинж чанартай. Модулийн бүтээц нь Нарны модулиудыг тогтсон хазайлтын өнцгөөр эсвэл нарны хөдөлгөөнийг даган нарлуу чиглүүлдэг. Нарны эрчим хүчний тэжээлийн элементийг хагас дамжуулагчийн материалын бүтцээс нь хамааран дараахь байдлаар тодорхойлж болно.



2-р зураг PV технологийн ангилал

- Инвертер

Инвертер нь PV модулиас үүссэн тогтмол гүйдлийн цахилгааныг хувьсах гүйдлийн цахилгаан болгон хувиргадаг. Инвертер нь олон төрлийн функцүүдийн тусламжтайгаар НЦС-ын үйлдвэрлэлтийг нэмэгдүүлдэг. Эдгээр нь стринг инвертер дээрх хүчдэлийн түвшинг оновчтой болгох ба дата бүртгэхийн тулд инвертерийн гүйцэтгэлийг хянах, мөн сүлжээнд эсвэл PV модульд алдаа гарсан тохиолдолд хамгаалалт, тусгаарлалтаар хангах зэрэг багтана.

Инвертерийн өргөн ашиглагддаг хоёр ангилал нь:

- Стринг инвертер
- Төвлөрсөн инвертер

Тогтмол гүйдлээс хувьсах гүйдэл хүртлэх инвертерийн бүх алдагдал, кабель болон бусад дамжуулагчийн алдагдлыг харгалзан Нарны цахилгаан станцын инвертерийг 27% хэт ачаалал авах боломжтойгоор төлөвлөв.

Ш. 10МВт НЦС-ЫН ТОГТМОЛ ГҮЙДЛИЙН ХЭСГИЙН ЕРӨНХИЙ БАЙГУУЛАЛТ

- НЦС-ын ерөнхий төлөвлөлтийг хийхээс өмнө тухайн төсөл хэрэгжих талбайд геодезийн байрзүйн судалгаа болон геологийн судалгааг хийдэг.
- 10МВт чадалтай НЦС хэрэгжих төслийн талбайд PVsyst программ хангамж ашиглах сансрын судалгааны өгөгдлийн тусламжтайгаар төслийн талбай дахь нарны цацрагийн тооцоо болон таамаглалыг гаргадаг.
- Дээрх судалгаа шинжилгээг төсөл хэрэгжих талбайд хийсний үр дүнд 10МВт НЦС-ын ажлын зураг төслийг боловсруулдаг.
 - 410 Вт чадалтай нарны модуль ашиглав
 - 143 кВт стринг инвертер (27% илүү ачааллах боломжтой)
- Нарны панел нь 2x25 нарны модулиас бүрдсэн багц байна.
- Ойролцоогоор 45га газрыг 10МВт-ын НЦС барихад ашиглана.

- Нарны станцын нэг модулын чадал 410 Вт бөгөөд нарны панель нь 25-р цуваа холбогдсон 50 ширхэг нарны модуль 2 эгнээгээр угсрагдана. Нэг нарны панелийн чадал нь 20.5 К болно.
- 10 МВт чадалтай НЦС-ын хувьд 1 инвертер хаус нь 2.5 МВт байхаар сонгосон бөгөөд нийт 5н ширхэг инвертер хаусаас бүрдэнэ.
- Энэхүү НЦС-д нэг инвертерийн чадлыг 143 кВт байхаар төлөвлөсөн бөгөөд 27%-ийн хэт ачаалал авах боломжтой. Уг инвертерийн чадал нь 185 кВт.
- 10 МВт чадалтай НЦС-д нийт 70 ширхэг инвертер байхаар төлөвлөв.
- НЦС-ын нийт суурилагдах чадал нь $70 \cdot 185 = 12950$ МВт.
- НЦС нь нийтдээ 31500 ширхэг нарны модулиас бүрдэнэ.

- НЦС-ын эзэмшил газарт нарны панелиудыг төлөвлөхдөө эргэх тойрон дахь эсвэл зэрэгцээ угсрагдах нарны панелиуд бие биеэ сүүдэрлэхээс зайлсхийн төлөвлөдөг.

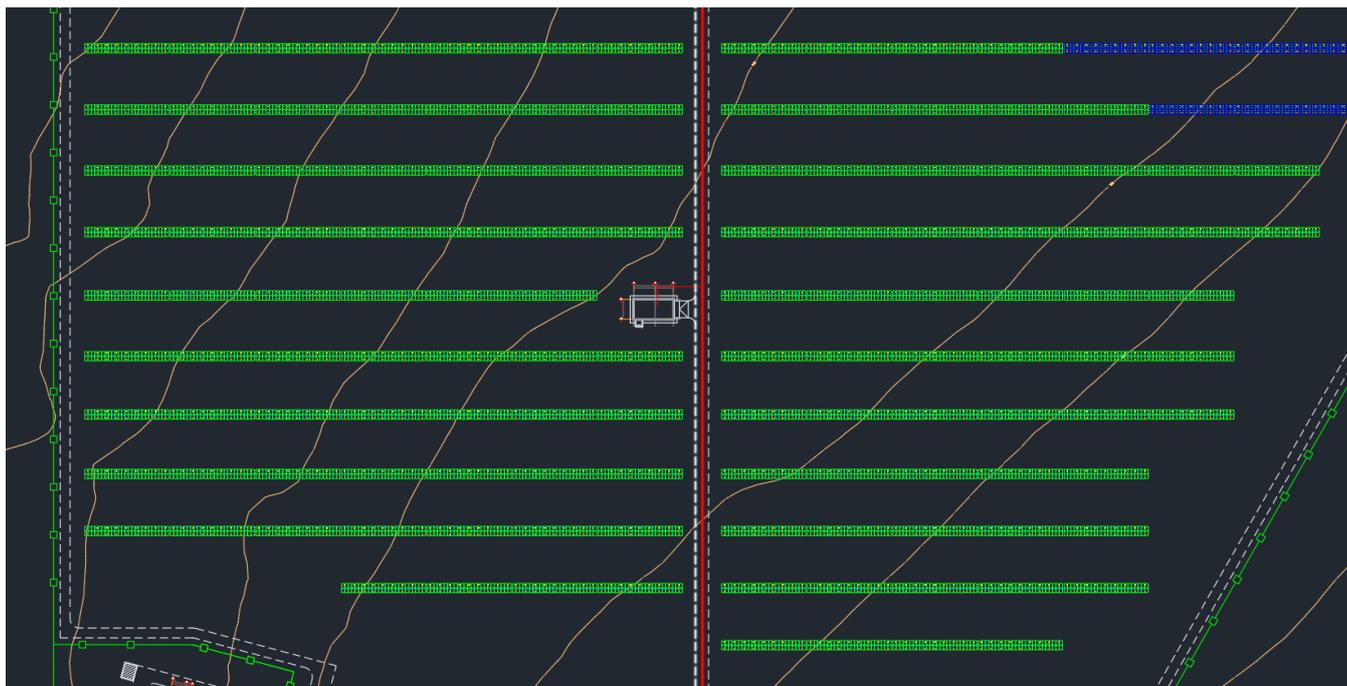
Нарны модуль хоорондын хэвтээ зай = 0:53м

Нарны модуль хоорондын босоо зай = 14:62м

2.5 МВТ ЧАДАЛТАЙ НЭГ ИНВЕРТЕР ХАУСЫН ТУХАЙ АВЧ ҮЗЬЕ

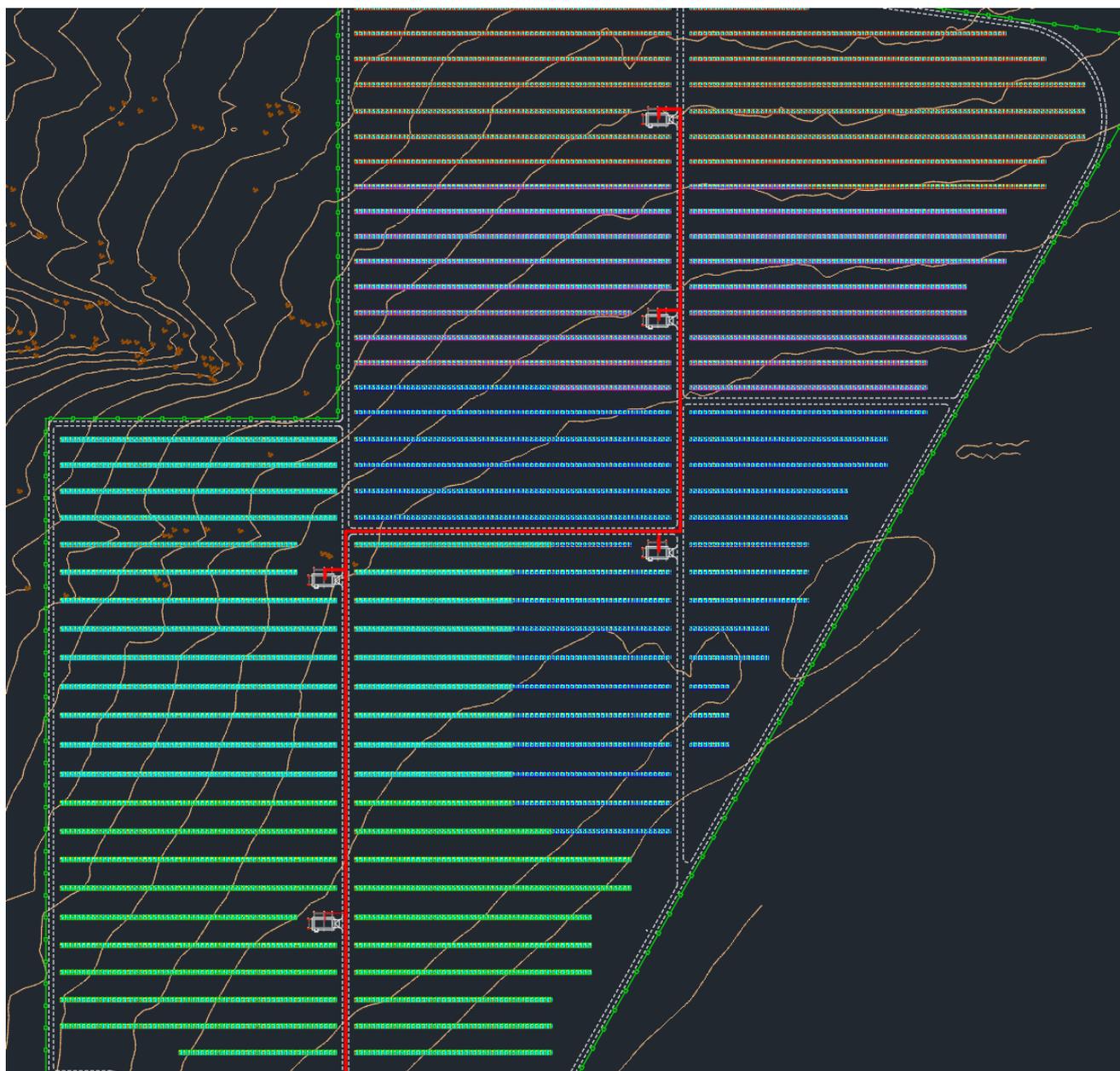
Нэг инвертер хаус нь нийтдээ 6300 ширхэг нарны модулиас бүрдэх бөгөөд нэг инвертерт 9 ширхэг нарны панель буюу 450 ширхэг нарны модуль холбогдоно. 10 МВт чадалтай НЦС-д зориулж 5 ширхэг инвертер хаусыг төлөвлөв.

- Нэг инвертер хаусын чадал 2.5 МВт байна.
- Инвертерийн чадал 143 кВт (27%-ийн хэт ачаалал авах боломжтой)
- Нэг инвертер хауст 14 ширхэг инвертер байрлана.
- Нэг инвертер бүрт 9 ширхэг нарны панель холбогдоно.
- Нэг инвертер хауст 14 ширхэг инвертер, 126 ширхэг нарны панель, 6300 ширхэг нарны модуль холбогдоно.



3-р зураг НЦС-ын нэгж инвертер хаусын төлөвлөлт

10 МВТ ЧАДАЛТАЙ НЦС-ЫН ЕРӨНХИЙ ТӨЛӨВЛӨЛТ



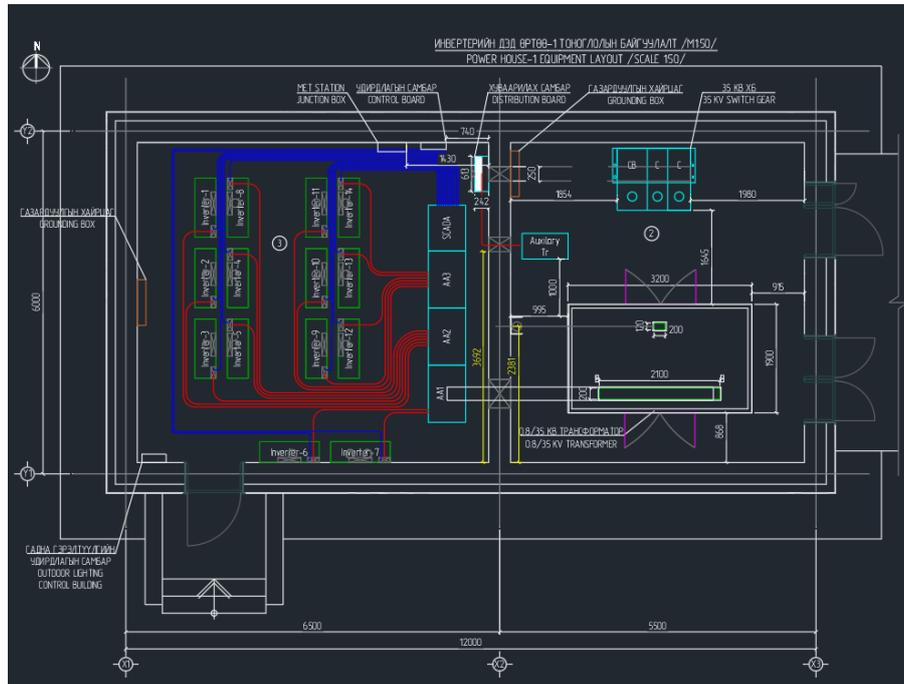
4-р зураг 10МВт чадалтай НЦС-ын ерөнхий төлөвлөлт

Инвертер хаус	Өнгөний тодорхойлолт
Инвертер хаус-1	Улаан
Инвертер хаус-2	Ягаан
Инвертер хаус-3	Цэнхэр
Инвертер хаус-4	Усан цэнхэр
Инвертер хаус-5	Ногоон

Тоног төхөөрөмж	Тоо ширхэг
Инвертер	14
Инвертер хаус	5
Нарны панель	126
Нарны модуль	6300

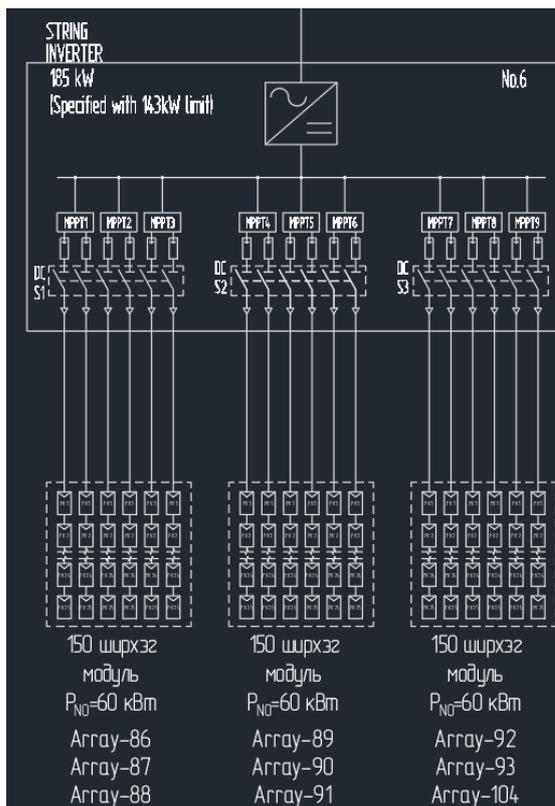
Инвертер хаус дотор тогтмол гүйдлийн хүчийг хувьсах гүйдэл болгож, сүлжээнд холбогдсон бүрэн нарны систем болгохын тулд инвертер, нам хүчдэлийн хаалттай хуваарилах байгууламж, өсгөх трансформатор болон дунд хүчдэлийн хаалттай хуваарилах байгууламжуудыг төлөвлөв. Инвертер хаусын байрлалыг сонгохдоо кабелиар дамжуулах гүйдлийн алдагдал хамгийн бага байх болон ухах булах ажлын тоо хэмжээг авч үзэн төлөвлөлтийг боловсруулав.

Нарны панелиас үйлдвэрлэсэн тогтмол гүйдлийн хүчийг инвертерт хувьсах гүйдэл болгон хувиргаж, цуглуулж, бага хүчдэлийн кабелиар нам хүчдэлийн хаалттай хуваарилахаар дамжуулан өсгөх трансформаторт очно. Өндөр хүчдэлийн кабель ашиглан өсгөх трансформатораас 35кВ-ын хаалттай хуваарилах руу дамжуулна.



5-р зураг Инвертер хаусын төлөвлөлт

а. СТРИНГ ИНВЕРТЕРИЙН ХОЛБОЛТ



143кВт чадалтай инвертерт Huawei брэндийн SUN2000-(185KTL-H1) маркийн инвертерийг сонгов. Энэхүү инвертер нь тогтмол гүйдлийн 18 ширхэг оролттой.

6-р зураг Стринг инвертерийн холболт

IV. PV SYST СИМУЛЯЦИЙН ПРОГРАММ ҮР ДҮН

НАСА нарны цацрагийн өгөгдөл, PV модуль болон инвертерийн техникийн үзүүлэлтүүдийг PV syst симуляцийн программд оруулснаар нарны модулиас үйлдвэрлэсэн тогтмол гүйдлийн энергийг жилийн туршид цаг тутамд тооцох боломжтой болдог. Энэхүү тогтмол гүйдэлийг инвертерт хувьсах гүйдэл болгон хувиргадаг. Нарны цацрагийн эрчим хүчийг хувьсах гүйдлийн цахилгаан болгон сүлжээнд нийлүүлэх явцад хэд хэдэн алдагдлууд гардаг бөгөөд энэхүү алдагдлыг бүтээмжийн алдагдлын фактоороор тодорхойлно. PV syst симуляцийн программ хангамж ашиглан дээрх алдагдлуудыг тооцдог.

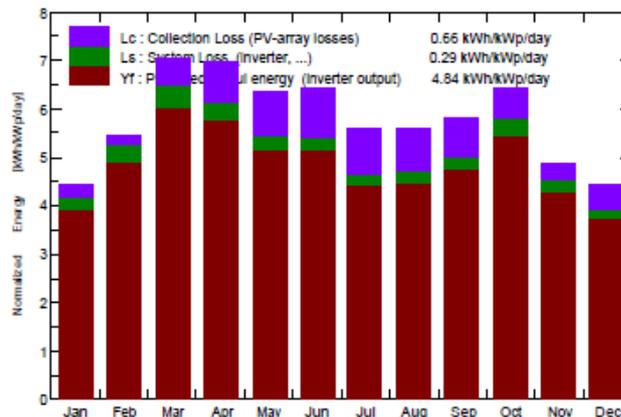
P50 СИМУЛЯЦИЙН ҮР ДҮН

Тооцоолсон гүйцэтгэлийн харьцаа (PR) нь НЦС-ын чанар болон үр ашгийг үнэлэх чухал үзүүлэлт бөгөөд энэ нь НЦС-ын бодит болон онолын боломжит эрчим хүчний үйлдвэрлэлтийн хамаарлыг тодорхойлдог. Тооцоолсон утгыг 100%-д ойртуулах тусам НЦС илүү үр ашигтай ажиллаж байна. Зайлшгүй эрчим хүчний алдагдал, дулааны алдагдал болон кабелийн алдагдлаас болж 100% PR-д хүрэх боломжгүй гэдгийг тэмдэглэх нь зүйтэй. PV syst симуляцийн программын үр дүнд системийн бүхийл алдагдлыг тооцооллоход эхний жилийн эрчим хүчний үйлдвэрлэлтийг доорх хүснэгтэд харуулав.

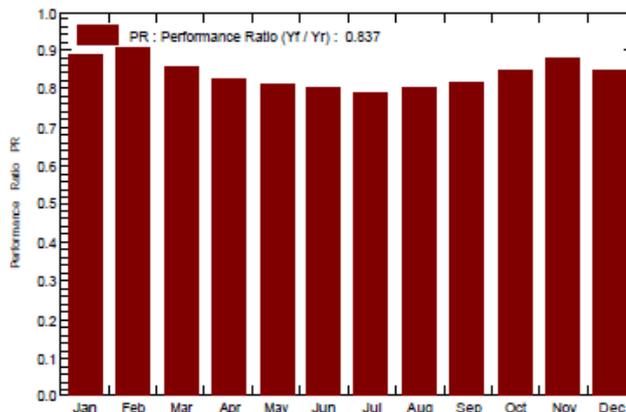
Утга	Үр дүн
Тодорхой жилийн бүтээмж	1,766кВт.ц/кВт/жил
Гүйцэтгэлийн харьцаа	83.66%
Жилийн бүтээмж(1 st жил)	21,784МВт.ц/жил

НЦС-ын урт хугацааны үйлдвэрлэлтийг тооцоолохдоо нарны модулийн үйлдвэрлэлтийн үр дүнгийн бууралтыг харгалзан үзэх ёстой. Нарны модуль үйлдвэрлэгчид бүтээгдэхүүндээ баталгаа өгөхөөс гадна бүтээгдэхүүний чадлын үйлдвэрлэлтэд бас давхар баталгаа өгдөг.

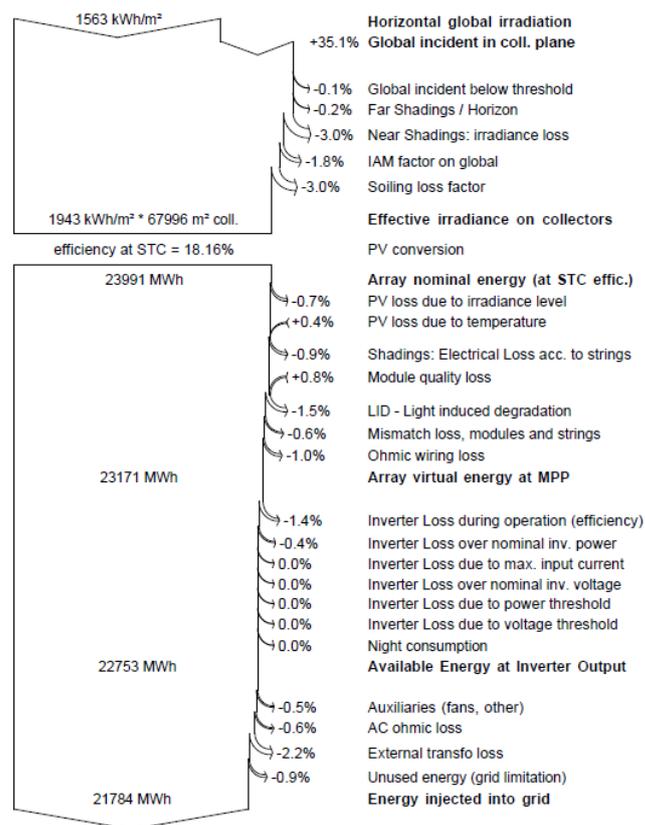
Утга	Үр дүн
Нарны модуль	JKM410M-72PVMОДУЛЬ
Жилийн бүтээмж (1 st жил)	97.50%
Жилийн бүтээмж (25 th жил)	80.70%
Эрчим хүчний баталгааны төрөл	Эхний жилийн үйлдвэрлэлтээс хойш жил бүр 0.7% буурна



7-р зураг Суурилуулсан кВт.ц тутам дахь хэвийн үйлдвэрлэлт



8-р зураг Гүйцэтгэлийн харьцаа PR



9-р зураг Бүтэн жилийн алдагдлын диаграмм

V. ДҮГНЭЛТ

10 МВт чадалтай НЦС-ын тогтмол гүйдлийн зураг төсөл боловсруулахад шаардлагатай бүхий л хэсгүүдийг багтаалаа. Энэхүү дүн шинжилгээний үр дүнд 10 МВт чадалтай НЦС-ын зураг төслийг AutoCAD программ ашиглан боловсруулсан. Зураг төсөлд НЦС-ын ерөнхий төлөвлөлт болон шаардлагатай схем, диаграммууд багтсан бөгөөд PV syst симуляцийн программ хангамжийг ашиглан НЦС-ын үр ашиг, үйлдвэрлэлтийн таамагласан. Энэ нь эхний жилд 21,784 МВт.цаг/жил буюу жилийн бүтээмж 97.5% байна. Станцын ашиглалтыг 25 жилээр тооцсон бөгөөд 25 дахь жилдээ 19,174 МВт.цаг/жил үйлдвэрлэхээр байна. Мөн НЦС-ын зураг төсөлд ашиглаж буй программ хангамжуудыг шинэчилснээр хүний хөдөлмөрийн бүтээмжийг дээшлүүлэх, зураг төслийн үед урьдчилсан тооцоолуудыг нарийн боловсруулах боломжтой байна.

Хамгийн их гаралтын чадал	143 кВт
Хамгийн их гаралтын чадал	188 кВт
Хэвийн гаралтын хүчдэл	800 В
Давтамж	50 /60 Гц
Гаралтын хамгийн их гүйдэл	134.9 А / < 3%
Чадлын коэффициент / нийт гармоникийн агууламж	0.8 lagging 0.8 leading
Хэвийн гаралтын гүйдэл	126.3 А @40С, 121.3 А @45С 108.3 А @50С
Хамгаалалтын төхөөрөмжүүд	
Оролтын таслах төхөөрөмж	Тийм
АС хэт гүйдлийн хамгаалалт	Тийм
DC хэт хүчдэл хязгаарлалт	Төрөл II
АС хэт хүчдэл хязгаарлалт	Төрөл II

VI. АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

- [1] https://en.wikipedia.org/wiki/Electricity_sector_in_Mongolia
- [2] Performance evaluation of 10 MW grid connected solar photovoltaic power plant in India (B. Shiva Kumar, K. Sudhakar)
- [3] Design of 50 MW grid connected solar power plant (Krunal Hindocha and Sweta Shah)
- [4] PV syst симуляцийн программ хангамжийн үр дүн
- [5] AutoCAD программ дээрх зураг төсөл

VII. ТЕХНИКИЙН ӨГӨГДӨЛ

7.1 НАРНЫ МОДУЛИЙН ӨГӨГДӨЛ

Төрөл	Утга
Хамгийн их чадал	410 Вт
Задгай хэлхээний хүчдэл	50.4 В
Богино залгааны гүйдэл	10.6 А
Хамгийн их чадалд харгалзах хүчдэл	42.3 В
Хамгийн их чадалд харгалзах гүйдэл	9.69 А
Системийн хамгийн их хүчдэл	1500 В

7.2 SUN2000-(185KTL-N1) СТРИНГ ИНВЕРТЕРИЙН ӨГӨГДӨЛ

Оролт	
Оролтын хамгийн их чадал	188 кВт
Оролтын хамгийн их хүчдэл	1500 В
Хамгийн их оролтын гүйдэл	26 А
DC богино залгааны гүйдлийн зөвшөөрөгдөх утга	40 А
Эхлэх хүчдэл	550 В
Ажиллах үеийн хүчдэлийн хэмжээ	500 В – 1500 В
MPP оролтын тоо	9
DC оролтын тоо	18
Гаралт	



ISSN 1560-8794

