



МОНГОЛ УЛСЫН ШИНЖЛЭХ УХААН  
ТЕХНОЛОГИЙН ИХ СУРГУУЛЬ

MONGOLIAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

# ЭРЧИМ ХҮЧ-100

№22(4)292

УЛААНБААТАР ХОТ

2022 ОН



ШИНЖЛЭХ УХААН ТЕХНОЛОГИЙН ИХ СУРГУУЛЬ  
ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ СУРГУУЛЬ  
ГРИЙН ЭНЕРЖИ ИНТЕРНЭЙШНЛ ХХК

**“ЭРЧИМ ХҮЧ-100”**

бакалавр, магистр, доктор оюутны эрдэм шинжилгээний бага хурал

№22(4)292

Улаанбаатар хот  
2022.03.18

ИЛТГЭЛҮҮДИЙН ЭМХЭТГЭЛ

Улаанбаатар хот  
2022 он

621,31'015

Б-207

© БАКАЛАВР, МАГИСТР, ДОКТОР ОЮУТНЫ ЭРДЭМ ШИНЖИЛГЭЭНИЙ БҮТЭЭЛИЙН ЭМХЭТГЭЛ №22(4)292

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

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

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

“ЭРЧИМ ХҮЧ-100” бакалавр, магистр, доктор оюутны эрдэм шинжилгээний бага хурал.  
/Илтгэлүүдийн эмхэтгэл. УБ: 2022

хэвлэлийн редактор доктор (Ph.D) Д.Даваацэрэн.

Эрдэм шинжилгээний хурал бага зохион байгуулах комисс

**Дарга:** ЭХС-ийн захирал доктор (Ph.D), профессор Б.Бат-Эрдэнэ

**Эрдэмтэн нарийн бичгийн дарга:** доктор (Ph.D) Д.Үлэмж

**Бага хурлын нарийн бичгийн дарга:** доктор (Ph.D) Д.Даваацэрэн

**Гишүүд:** Доктор (Ph.D), дэд профессор Д.Цэрэндолгор  
Доктор (Ph.D), дэд профессор Б.Пүрэвсүрэн  
Доктор (Ph.D), дэд профессор Д.Балдандорж  
Доктор (Ph.D) Б.Нямбаяр  
Доктор (Ph.D) С.Мөнхжаргал  
Доктор (Ph.D) О.Чимэд  
Доктор (Ph.D) М.Батгулга  
Доктор (Ph.D) Т.Батгэрэл  
Доктор (Ph.D) Б.Өлзийбадрах

Хэвлэлийн дизайныг Д.Даваацэрэн

Хэвлэлийн эх бэлтгэсэн: док. Д.Даваацэрэн

Үсгийн гарнитур: Mogul Times New Roman

ISBN 978-99929-4-321-5

## ГАРЧИГ

### 1-р хэсэг. БАКАЛАВР ОЮУТНУУДЫН ИЛТГЭЛҮҮД

<b>ДУЛААН ЦАХИЛГААНЫ ТЕРМОМЕТРИЙН ЧӨЛӨӨТ ТӨГСГӨЛИЙН ТЕМПЕРАТУРЫН КОМПЕНСАЦИЙН ХЭМЖИЛИЙН ҮР ДҮН</b> Б.Жавхлантөгс, Н.Бааса, А.Тамир, М.Дүгэрмаа, Х.Цолмон	2
<b>ЭЛС ХӨРСНИЙ ХИЙН ЦАХИЛАЛТЫН ШИНЖИЛГЭЭНИЙ ҮР ДҮН</b> Ц.Төмөрбаатар, Г.Базаррагчаа, С.Эрдэнэтуяа	6
<b>ГИДРОПОНИКИЙН АВТОМАТЖУУЛСАН СИСТЕМИЙН ЦАХИЛГААНЫ ХЭРЭГЛЭЭГ СЭРГЭЭГДЭХ ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ ЭХ ҮҮСВЭРЭЭР ШИЙДЭХ СУДАЛГАА</b> Б.Түвшинжаргал, А.Гантогтох, Д.Уянга, Т.Ганцолмон, Ц.Нямтулга, М.Сувд, Д.Ууганзаяа, Л.Сүхболд, Э.Мөнхтуяа	9
<b>МОНГОЛ УЛСАД ХЭРЭГЛЭЖ БАЙГАА ЦАХИЛГААН ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ ТООЛУУРЫН АШИГЛАЛТЫН ЗАРИМ АСУУДАЛ</b> Б.Өсөхбаяр, Л. Номин, Э. Болдбаатар, С.Эрдэнэтуяа	13
<b>“ЦДҮС ТӨХК”-Д АШИГЛАГДАЖ БАЙГАА ТООЛУУРЫН СУДАЛГАА, ТҮҮНИЙ ХЭРЭГЛЭЭ</b> А.Хүдэрчулуун, Ө.Баярмаа	18
<b>ДӨРВӨН ОМНИ ДУГУЙТАЙ РОБОТЫН ЯВАЛТЫГ УДИРДАХ АРГАЧЛАЛ</b> А. Мөнх-Оргил, Ч. Ангараг	21
<b>ДУЛААНЫ ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ АНХДАГЧ ЭХ ҮҮСГҮҮРИЙН ОНОВЧТОЙ СОНГОЛТ ХИЙХ СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮНГЭЭС</b> Б.Шинэбаяр, Ц.Наранцацрал, Б.Өлзийбадрах	24
<b>ДОРНОГОВЬ АЙМГИЙН НЕФТЬ ОЛБОРЛОХ ҮЙЛДВЭРИЙН ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ ХЭМЖИЛТИЙН СУДАЛГАА</b> О.Ариунцэцэг, Ц.Эрдэнэтуяа	26
<b>ӨНДӨР ХҮЧДЛИЙН ДҮҮЖИНТ ТУСГААРЛАГЧ ДЭЭРХ ПОТЕНЦИАЛЫН ТАРХАЛТЫН ХЭМЖИЛТ БА ТООЦООЛОЛ</b> Э.Хатанбат, Б.Билгүүнбат, Б.Золжаргал, Ц.Чингэс	29
<b>ЭРЧИМ ХҮЧ ҮЙЛДВЭРЛЭЛИЙГ НАЙДВАРТАЙ БӨГӨӨД ҮР АШИГТАЙ АЖИЛЛАХАД УС БЭЛТГЭЛИЙН НӨЛӨӨЛЛИЙН СУДАЛГАА</b> А.Пүрэвдорж, Б.Оюунсувд, Б.Өлзийбадрах	33
<b>ЭРЧИМ ХҮЧ ҮЙЛДВЭРЛЭЛЭЭС ҮҮСЭХ АГААРЫН БОХИРДОЛЫГ БУУРУУЛАХ ТООЦООНЫ ЗАРИМ ҮР ДҮНГЭЭС</b> М.Цогзолмаа, Б.Өлзийбадрах	36

### 2-р хэсэг. МАГИСТР ОЮУТНУУДЫН ИЛТГЭЛҮҮД

<b>“ДЦС-4” ТӨХК-ИЙН ЦАХИЛГААН ТОНОГЛОЛЫН ГЭМТЭЛ БА НАСЖИЛТЫН СУДАЛГАА</b> Б.Батгал, М.Баттулга	39
<b>МОНГОЛ УЛСЫН ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ СИСТЕМД НЭВТЭРСЭН АЧААЛАЛ ХӨНГӨЛӨХ АВТОМАТИК (АРОЛ)-ИЙН ТУРШИЛТ, СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН</b> Н.Буян-Өлзий, Х.Эрдэмбилэг, Ба.Бат-Эрдэнэ, М.Баттулга	42
<b>ДУЛААНЫ ШУГАМЫН АЛДАГДАЛ, ДУЛААЛГЫН ЧАНАРЫН СУДАЛГАА</b> Э.Чанцалдулам, Д.Цэрэндолгор	46

<p><b>“САЛХИТ ” САЛХИН ЦАХИЛГААН СТАНЦЫН РЕЛЕ ХАМГААЛАЛТЫН СУДАЛГАА, САЙЖРУУЛАХ АРГА ЗАМ</b> П.Энхтөр, Ч.Нацагдорж</p>	52
<p><b>ЗЭРЭГЦЭЭ ХОЛБОГДСОН ТОГТМОЛ ГҮЙДЛИЙН ӨСГӨХ ХУВИРГУУР АШИГЛАН ЧАДЛЫН КОЭФФИЦИЕНТИЙГ ДЭЭШЛҮҮЛЭХ, ГАРМОНИКИЙН ГАЖИЛТЫГ БУУРУУЛАХ СУДАЛГАА</b> С. Гончигсүрэн, Б.Сэргэлэн Ч. Рэнчиндорж</p>	58
<p><b>ҮЙЛДВЭРЛЭЛ, ҮЙЛЧИЛГЭЭНИЙ ЗОРИУЛАЛТТАЙ АВТОМАТ РОБОТЫН СИСТЕМИЙН СУДАЛГАА, УДИРДЛАГЫН СИСТЕМИЙН ХӨГЖҮҮЛЭЛТ</b> Энхболд Мөнх-Эрдэнэ, Биндэрьяа Болдбаатар, Бат-Эрдэнэ Бямбасүрэн</p>	63
<p><b>ЦАХИЛГААН ДАМЖУУЛАХ ШУГАМЫН ТООН ХАМГААЛАЛТЫН ЗАГВАРЧЛАЛ</b> Э.Мөнх-Эрдэнэ, Н.Нямсүрэн, М.Баттулга</p>	69
<p><b>6, 10 КВ-ЫН ЦАХИЛГААН ТҮГЭЭХ СҮЛЖЭЭНИЙ СААРМАГ ЦЭГИЙН ГАЗАРДЛАГЫН ГОРИМ, ТҮҮНИЙГ ӨӨРЧЛӨХ АСУУДАЛ</b> М.Очирсанаа, Ц.Эрдэнэтуяа</p>	74
<p><b>ТҮГЭЭХ СҮЛЖЭЭНД ГАЗАРДЛАГЫН ХАМГААЛАЛТ НЭВТРҮҮЛЭХ СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН ҮР ДҮН</b> Ч.Алтанбүргэд, М.Баттулга</p>	80
<p><b>БЭЛЭН БОЛСОН ГУРИЛАН БҮТЭЭГДЭХҮҮНИЙГ ГАРААР ЗӨӨХ ДАМЖЛАГЫГ IRB120 АВВ РОБОТ ГАР АШИГЛАН АВТОМАТЖУУЛАХ БОЛОМЖИЙН СУДАЛГАА</b> О.Батсайхан, Б.Билгүүн</p>	86
<p><b>ДЕФИБРИЛЛЯТОРЫН АППАРАТНЫ ГАРАЛТЫН ПАРАМЕТРИЙН СУДАЛГАА</b> П.Жавхлан, Х.Сарангэрэл</p>	91
<p><b>ЦАХИЛГААН ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ ПАРАМЕТРУУДИЙН БОЛОВСРУУЛАЛТЫН АЛГОРИТМЫГ STM32F4-DISCOVERY АШИГЛАН ТУРШИЛТЫН АРГААР СУДЛАХ</b> Ж.Төгөлдөр, Бя.Бат-Эрдэнэ, Н.Жигжидсүрэн</p>	97
<p><b>БАРИЛГЫГ НЭМЖ ДУЛААЛСНААР БИЙ БОЛОХ ҮР ӨГӨӨЖИЙГ БҮРЭН ХҮРТЭХ АРГА ЗАМЫН СУДАЛГАА</b> Н. Золжаргал, Б.Намхайням,</p>	104
<p><b>ДАМЖУУЛАХ СҮЛЖЭЭНИЙ УЛААНБААТАР БҮСИЙН ШУГАМ, ТОНОГЛОЛЫН РЕЛЕ ХАМГААЛАЛТ АВТОМАТИКИЙН СУДАЛГАА</b> Н.Ичинхорлоо, Б.Тогтохжаргал, М.Баттулга</p>	107
<p><b>ЛЮМИНЕСЦЕНТ ТӨВЛӨРҮҮЛЭГЧ БҮХИЙ ХОСОЛМОЛ НАРНЫ ЦАХИЛГААН ҮҮСГҮҮРЭЭР БАРИЛГЫГ ЭРЧИМ ХҮЧЭЭР ХАНГАХ СУДАЛГАА</b> Ц.Мөнхжавхлан, Г.Төгсбүс, М.Ганхүлэг</p>	112
<p><b>ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ БАРИЛГА, БАЙГУУЛАМЖИЙГ БАЙНГЫН АШИГЛАЛТАД ХҮЛЭЭН АВАХ, ХАНГАГЧ БАЙГУУЛЛАГАТАЙ ХОЛБООТОЙ ЗАРИМ АСУУДЛУУД</b> Э.Чинзориг, Д.Цэрэндолгор</p>	123
<p><b>ЦДҮС ТӨХЖ-ИЙН ГОВИЙН БҮСИЙН ЭХС-ЭЭС ОЮУТОЛГОЙ УУРХАЙГ ЭРЧИМ ХҮЧЭЭР ХАНГАХ СУДАЛГАА</b> Цэдэнбалын Чимэддулам, Шагдарсүрэнгийн Гантөмөр</p>	127

**1-р хэсэг.**  
**БАКАЛАВР ОЮУТНУУДЫН**  
**ИЛТГЭЛҮҮД**

## ДУЛААН ЦАХИЛГААНЫ ТЕРМОМЕТРИЙН ЧӨЛӨӨТ ТӨГСГӨЛИЙН ТЕМПЕРАТУРЫН КОМПЕНСАЦИЙН ХЭМЖИЛИЙН ҮР ДҮН

Б.Жавхлантөгс<sup>1</sup>, Н.Бааса<sup>1</sup>, А.Тамир<sup>1</sup>, М.Дүгэрмаа<sup>1</sup>, Х.Цолмон<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Дулааны инженерийн салбар  
[jawhaa0222@gmail.com](mailto:jawhaa0222@gmail.com)

*Хураангуй*–Технологийн процессын найдвартай, аюулгүй ажиллагаа хангахад түүний хяналт, удирдлага хамгийн чухал үүрэгтэй ба хэмжих хэрэгслийн сонголт, хэмжил, хэмжих хэрэгсэл болон хэмжилийн алдааны утга зэрэг нь зайлшгүй авч үзэх асуудлуудын нэг юм. Дулаан цахилгааны термометр (термопар) нь хамгийн өргөн хэрэглэгддэг температур хэмжих хэрэгслийн нэг бөгөөд бат бөх чанар, анхдагч хувсгуурын мэдрэмж, хэмжээслэлийн тодорхойломж, хэмжих хязгаар нь түүний давуу тал болно. THSRZ-E1 Мэдрэх элементийн цогц төхөөрөмж дээр термопар К -ын тодорхойломжийг шалгаж, түүний тодорхойломжийн утгыг аналитик аргаар гаргаж, чөлөөт төгсгөлийн температурын компенсацийн хэмжил хийж, алдааг тооцов.

*Түлхүүр үг*–Термопар, эсэргүүцлийн термометр, цахилгаан хөдөлгөгч хүч, үнэмлэхүй алдаа.

### I. УДИРТГАЛ

Дулаан цахилгаан эффект нь зөвхөн металл дамжуулагчуудаас бүрдэх цахилгаан хэлхээний бүх хэсгүүд ижил температуртай байх ба хэлхээнд цахилгаан хөдөлгөгч хүчний утга тэг байна. Термопар нэгээс их дамжуулагч (термоэлектрод)-аас бүрдэх хэлхээ бөгөөд холбогдсон төгсгөлүүдийн температур өөр өөр байх үед цахилгаан хөдөлгөгч хүч үүсдэг, Зеебекийн эффект дээр үндэслэгдсэн.

$$E(t_1, t_2) = e(t_1) - e(t_2) \quad (1)$$

Термоэлектрод нь янз бүрийн металл, хайлш дамжуулагч байх бөгөөд тэдгээр нь хэмжих хязгаар, тодорхойломжоороо өөр өөр байна. Өргөн хэрэглэгддэг термопаруудыг 1-р хүснэгтэд үзүүлэв.

1-Р ХҮСНЭГТ. ТЕРМОПАРЫН ТӨРӨЛ

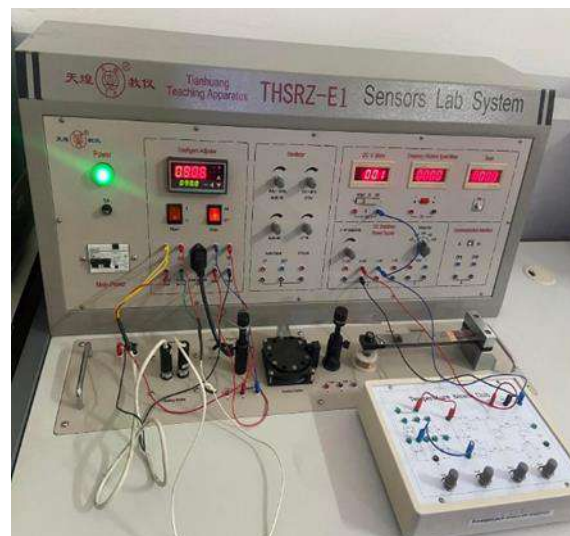
Төрөл	Металл 1	Металл 2	Температур хязгаар
T	Зэс	Константан	-200...+350
J	Төмөр	Константан	+750 хүртэл
K	Хромель	Алюмель	-200...+1250
E	Хромель	Константан	-200...+900

Хэрэв термопарын чөлөөт төгсгөлийн температур тогтмол байвал залруулгын утга тогтмол, чөлөөт төгсгөлийн температур  $T_c = 0^\circ\text{C}$  тогтмол температурт байвал залруулга тэг болно. Хамгийн энгийн тохиолдол нь чөлөөт төгсгөл нь  $0^\circ\text{C}$  байх ба  $T_c = 0^\circ\text{C}$  бол  $V_{out} = V_h$  байна. Ө.х ажлын төгсгөлийн температур, хэмжсэн хүчдэлийн утгаар тодорхойлогдоно. Практик дээр термопарын хэмжилийн дүнд чөлөөт төгсгөлийн температураас үүссэн хүчдэлийн зөрүүг тооцох шаардлага гардаг ба энэ процессыг чөлөөт төгсгөлийн компенсаци гэж нэрлэдэг. Чөлөөт төгсгөл төгсгөлийн температур нь халуун төгсгөлийн температуртай пропорциональ хамаарах ба чөлөөт төгсгөлийн

температур тогтмол байлгаж, хэмжилийн дүнд нөлөөлөхгүй, эсвэл нөлөөлөлгүй байхаар тооцож, зөвшөөрөгдөх алдаатай жишиж дүгнэв.

### II. ХЭМЖЛИЙН ОБЪЕКТ

THSRZ-E1 хэмжилт ба удирдлагын олон төрлийн мэдрэгчүүд бүхий цогц төхөөрөмж ба термопарыг шалгах, түүний чөлөөт төгсгөлийн температурын өөрчлөлтийг хэмжих хэмжилтүүдийг хийв. 1-р зурагт хэмжилийн холболт, хэмжилийн үеийн зургийг харуулав.



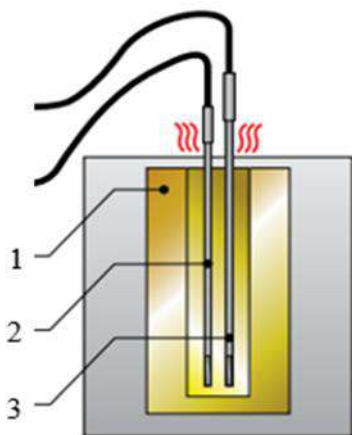
1-р зураг. THSRZ-E1 Мэдрэх элементийн цогц төхөөрөмж дээрх хэмжилийн холболт хийсэн байдал

Хэмжилийн бүрэлдэхүүн хэсгүүд:

- Халаагуур
- Вольтметр
- Температурын хувьсгуурын модуль
- Үлгэр жишээ температур заагч
- Термопар К

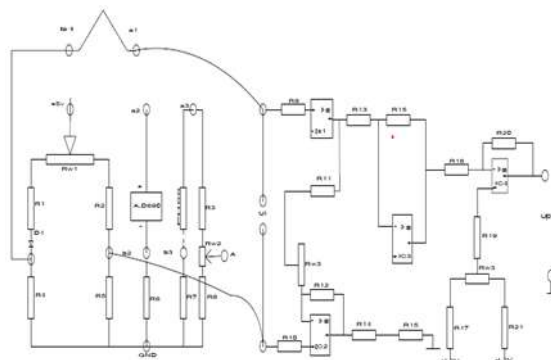
- Эсэргүүцлийн термометр pt100
- Температурийн хувьсгуур модуль
- Зөөврийн хувьсгуур, вольтметр
- Холболтын утас зэрэг болно.

THSRZ-E1 Мэдрэх элементийн цогц төхөөрөмж, температурын хувьсгуурын модулийг холбож, халаагуурын температурыг 100 °C хүртэл өөрчилж, үлгэр жишээ анхдагч хувьсгуур - pt100 төрлийн эсэргүүцлийн термометр, шалгагдаж байгаа анхдагч хувьсгуур К термопарыг 2-р зурагт үзүүлснээр байрлуулж хэмжилт хийж, шалгав.



2-р зураг. Температурын анхдагч хувьсгуурыг халаагуурт суурилуулсан байдал. 1-Халаагуур, 2-Үлгэр жишээ анхдагч хувьсгуур, 3-Шалгагдаж байгаа анхдагч хувьсгуур.

Термопарын чөлөөт төгсгөлийн температурын компенсацийн хэмжилд 3-р зурагт үзүүлсэн схем бүхий температурын хувьсгуурыг ашигласан бөгөөд цахилгаан эсэргүүцлийн өөрчлөлтийн утгуудад 30-40 удаагийн хэмжилийг гүйцэтгэж, хэмжилийн дундаж утгыг 3-р хүснэгтэд үзүүлэв.



3-р зураг. Температурын хувьсгуурын холболтын схем

### Ш. ХЭМЖЛИЙН ҮР ДҮН

THSRZ-E1 төхөөрөмжийн халаагуурын температурыг 1-р зурагт үзүүлснээр

эсэргүүцлийн термометр, дулаан цахилгааны термометрийн анхдагч хувьсгууруудаар хэмжиж, хэмжилийн хувьсгуурын хэмжсэн гаралтын утгуудыг 2-р хүснэгтэд үзүүлэв.

### 2-Р ХҮСНЭГТ. ТЕРМОПАР К-ЫН ХЭМЖЭЭСЛЭЛИЙН ТОДОРХОЙЛОМЖИЙН ХЭМЖИЛИЙН УТГА

Эсэргүүцлийн термометрийн заалт, $T_1$ °C	Шууд хэмжил, $U_0$ мВ	Шууд хэмжил, $U_0$ мВ
10	0.39	0.39
20	0.79	0.79
30	1.21	1.22
40	1.62	1.61
50	2.02	2.03
55	2.23	2.22
60	2.43	2.44
66	2.68	2.67
70	2.85	2.86
77	3.14	3.13
80	3.26	3.25
88	3.55	3.59

Дулааны цахилгаан термометрийн төрөл Термопар К –ын чөлөөт төгсгөлийн температурыг температурын дамжуулах хувьсгуурын модультай холболт хийж гүйцэтгэв. Хэмжилийг ажлын төгсгөлийн температур  $T_h = 60$  °C үед хувьсгуурын цахилгаан эсэргүүцлийн өөр өөр утгуудад чөлөөт төгсгөлийн температурын хэмжиж, түүнд харгалзах гаралтын дундаж утгыг 3-р хүснэгтэд үзүүлэв.

### 3-Р ХҮСНЭГТ. ТЕРМОПАР К –ЫН ЧӨЛӨӨТ ТӨГСГӨЛИЙН TEMПЕРАТУРЫН ХЭМЖИЛИЙН ДУНДАЖ УТГА

	$R_{min}$	$R_{av}$	$R_{max}$
$TAT, T_h$ °C	60	60	61
$TCT, T_c$ °C	10	20	28
Хэмжилийн дундаж утга $U_0$ мВ	0.246	0.52	0.64

Дулаан цахилгаан термометрийн анхдагч хувьсгуурын гаралтын утга температураас шугаман бус хамаарлаар хамаарах ба анхдагч хувьсгуурын гаралтын хэмжигдэхүүн хүчдэлийн утгыг тухайн анхдагч хувьсгуурын хийцээс хамааран тодорхойлохын тулд хүснэгт, шугаман бус функц ашиглана.

Стандарт термопар Е ба К төрлийн чөлөөт төгсгөлийн температур  $T_c = 0$  °C үеийн аналитик аппроксимацийн олон гишүүнт коэффициентийн утгыг хүснэгтээр үзүүлэв.

### 4-Р ХҮСНЭГТ. Е БА К ТӨРЛИЙН ТЕРМОПАРЫН АНАЛИТИК АППРОКСИМАЦИЙН ОЛОН ГИШҮҮНТ КОЕФФИЦИЕНТ

Параметр	Термопарын төрөл	
	Е	К
	0-1000 °C	
$a_0$	0	0
$a_1$	1.7057035E-2	2.50835E-2
$a_2$	-2.3301759E-7	7.86011E-8
$a_3$	6.5435585E-12	-2.503E-10



Термопар К-ийн хувьд аналитик шугаман бус хамаарлыг дараах тэгшитгэлээр тодорхойлов.

$$U(T) = a_0 + a_1 * T + a_2 * T^2 + a_3 * T^3 \dots + a_n * T^n \quad (2)$$

тнд: U(T) - Гаралтын хүчдэл, T- температур,  $a_0 \dots a_n$  – тухайн төрлийн термопарын олон гишүүнт коэффициент,

Аналитик шугаман бус аргаар чөлөөт төгсгөлийн температурд харгалзах тооцооны гаралтын утгыг 5-р хүснэгтэд үзүүлэв.

**5-Р ХҮСНЭГТ. ТООЦООНЫ ХАРЬЦУУЛСАН ХҮСНЭГТ**

Чөлөөт төгсгөлийн температур, $T_c$ °C	Тооцооны утга, $U_0$ мВ	Үнэмлэхүй алдаа, мВ
10	0.251	0.005
20	0.502	0.018
25	0.627	0.013

Температурын хязгаарын нийцэх утгуудад аналитик шугаман бус хамаарлын алдааны зөвшөөрөгдөх утга 0.05 мВ ба хэмжилийн алдааны утгууд хэмжүүрийн зөвшөөрөгдөх алдаанаас бага байна.

**IV. ХЭМЖИХ ХЭРЭГСЛИЙН АЛДАА**

Хэмжих хэрэгслийн алдааг 0...200 мВ хуваарийн заалттай, тоон хэмжүүрийн хувьд дараах тооцооны тодорхойлов.

Хэмжүүрийн зөвшөөрөгдөх үнэмлэхүй алдаа:

$$\Delta_{ХЗҮА} = \frac{d}{100} X_B = \frac{0.1}{100} * 200 = 0.2 \text{ мВ} \quad (3)$$

Шилжүүлсэн алдаа:

$$\gamma_{ТХ} = \frac{\Delta_0}{\Delta_{ХУВ}} = \frac{0.2}{200} = 0.01 \% \quad (4)$$

Тоон хэмжүүрийн хамгийн их алдааны шилжилтийг тодорхойлохын тулд алдааны тархалтын төрлийг тодорхойлох шаардлагатай.

Хэмжилийн хэмжүүрийн хувьд  $\alpha=0.5$  илтгэгч зэрэг бүхий  $p(x) = 0.25e^{-\sqrt{|x|}}$  экспоненциаль функц байна. Алдааны дисперсийн тооцооны утга нийт дисперсийн 8% эсвэл 1/13 тай ойролцоогоор тэнцэнэ. Хэмжүүрийн хуваарийн хамгийн их, бага утгуудад харгалзан

$$\sigma_{э.тх} = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.289 \%$$

$$\sigma_{с.тх} = \frac{0.6}{\sqrt{3}} = 0.346 \%$$

Тоон вольтметрийн хувьд алдааны экспоненциаль хэсгийн тооцоо хоёр хэсгээс бүрдэнэ.

1.  $x=0$  үед

$$\sigma_{1э.тх} = \sqrt{0.289^2 \frac{12}{13}} = 0.278 \% \quad (5)$$

$$\sigma_{2э.тх} = \sqrt{0.289^2 \frac{1}{13}} = 0.080 \% \quad (6)$$

2.  $x=x_{max}$  үед

$$\sigma_{1с.тх} = \sqrt{0.346^2 \frac{12}{13}} = 0.332 \% \quad (7)$$

$$\sigma_{2с.тх} = \sqrt{0.346^2 \frac{1}{13}} = 0.096 \% \quad (8)$$

Дээрх утгууд тухайн тархалтын төрлийн алдааны зөвшөөрөгдөх мужид харьяалагдаж байна.

Хэмжилийн өөр өөр дүнг үлгэр жишээ хэмжүүрийн утга, хэмжээслэлийн тодорхойломжийн утга, тухайн термопарын ажлын төгсгөлийн температурыг тодорхойлох аналитик аргыг авч үзэж харьцуулав. Хэмжилийн дүнгийн үнэмлэхүй алдаа нь хэмжүүрийн зөвшөөрөгдөх үнэмлэхүй алдаанаас бага байгаа тул хэмжилийг тооцож болох ба термопарын хэмжилд нөлөөлөх алдааг ангилж дүгнэлт хэсэгт оруулав.

**V. ДҮГНЭЛТ**

THSRZ-E1 Мэдрэх элементийн цогц төхөөрөмж дээр К-термопарын тодорхойломжийг шалгаж, түүний тодорхойломжийн утгыг аналитик аргаар гаргаж, чөлөөт төгсгөлийн температурын компенсацийн хэмжил хийж хэмжилийн хамгийн их үнэмлэхүй алдаа, зөвшөөрөгдөх утга 0.05 мВ-аас бага байна.

Термопарын хэмжилийн алдаа дараах нөлөөлнө.

- Термопарын шинж чанар санамсаргүй алдаа (электродын материалын агууламжийн хувиас хамаарна)
- Чөлөөт төгсгөлийн температурын хэмжилийн санамсаргүй алдаа
- Хүчдэл, температурын тодорхойломжийн шугаман бус компенсацийн системийн алдаа
- Мэдрүүрийн дулаан багтаамжаас хамаарсан системийн алдаа
- Гадна цочир үйлчлэлээс хамаарсан алдаа

Чөлөөт төгсгөлийн температурын хэмжилийн алдаа, шугаман бус алдаа, тоон болон аналог сувгийн алдаа, динамик алдааг тухайн хэмжих хэрэгслийн ашиглалтын заавард тэмдэглэнэ. Бусад төрлийн алдааг тусад нь тооцох ба термопарын төрөл, цахилгаан соронзоны нөхцөл, хэмжилийн объектын шинж чанар болон бусад нөлөөллөөс хамаарсан алдаа багтана.

**VI. НОМ ЗҮЙ**

- [1]. Ц.Эрдэнэцэцэг, бусад “Технологийн процессын автоматжуулалт” УБ 2006 он
- [2]. Дулааны хэмжил хэмжүүр хичээлийн лабораторын ажлын гарын авлага 2020 он
- [3]. П.В.Новицкий И.А. Зограф “Оценка погрешностей результатов измерений” Ленинград 1991
- [4]. THSRZ-1 Sensor System Synthetic Experimental Equipment. Operating Instructions
- [5]. А.С.Клюев Н.Ф.Коваленко “Наладка приборов и устройств технологического контроля” Москва 1976
- [6]. <https://www.omega.com/en-us/resources/thermocouple-junction-principles>
- [7]. <https://blog.beamex.com/thermocouple-cold-junction-compensation>
- [8]. Calibration-Essentials-Temperature. [file:///C:/Users/admin/Downloads/Calibration-Essentials-Temperature-eBook%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/admin/Downloads/Calibration-Essentials-Temperature-eBook%20(1).pdf)
- [9]. Implementing Cold-Junction Compensation in Thermocouple Applications. 2007.

## ЭЛС ХӨРСНИЙ ХИЙН ЦАХИЛАЛТЫН ШИНЖИЛГЭЭНИЙ ҮР ДҮН

Ц.Төмөрбаатар<sup>1</sup>, Г.Базаррагчаа<sup>1</sup>, С.Эрдэнэтуяа<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Монгол Улсын Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургууль, Эрчим Хүчний Сургууль  
[Tomroot855@gmail.com](mailto:Tomroot855@gmail.com), [Erdenetuya.s@must.edu.mn](mailto:Erdenetuya.s@must.edu.mn)

*Хураангуй*–Физик шинж чанар буюу бүс нутгаараа өөр хоорондоо ялгаатай элсний дээжүүдэд хугацаанаас хамаарсан хийн цахилалтыг туршилтаар бий болгон зургийг нь Экотестерийн камераар бүртгэн авч харьцуулсан шинжилгээгээр элс хөрсний цахилгаан шинж чанарыг ялгааг тодорхойлохыг зорилоо. Судалгааны объектод бид БНХАУ-ын элсний дээж, Говь-Алтай аймгийн Бигэр сумын элс, Улаанбаатар хотын хөрсний дээж ашиглан туршилтыг экотестер багажийн тусламжтай гүйцэтгэсэн үр дүнг танилцуулав.

*Түлхүүр үг*–Цахилгаан шинж чанар, корреляц, хамаарал, хөрсний чийгшил, цахилалт, эрдсийн найрлага.

### I. УДИРТГАЛ

“Хөрс нь манай гаригийн түүхэн хөгжилд бидний бодлогоос хавьгүй их ач холбогдолтой ажээ” хэмээн В.И.Вернадский хэлэхдээ шинжлэх ухаанч байдлаар хөрсний газарзүй, хөрсний биологи, хөрсний хими, геохими, хөрсний физик зэрэг нийлмэл, салбар ухагдхууныг бий болгож шинжлэн судлах шаардлагатай гэсэн санааг гаргасантай холбоотой.

#### A. Хөрсний шинж чанар

Хөрсний цахилгаан даацад нөлөөлөх гол хүчин зүйл нь түүний чийглэг ба давслагийн агууламж юм. Хөрс чийгтэй болмогц хувийн эсэргүүцэл нь хэдэн 10 100 дахин багасна. Энэ нь хөрс хуурай хэлбэрээр агуулагдаж байсан давс хүчлүүд усанд ууссаны улмаас чөлөөтэй ионууд үүсч, цахилгаан гүйдэл дамжуулах чадвар ихссэнтэй холбоотой. Хөрсөн доторх гадаргуугын усны агууламж өндөр байвал цахилгаан эсэргүүцэл харьцангуй их байх ба чөлөөт усны хэмжээ нь их, гадаргуугын усны хэмжээ бага болвол цахилгаан дамжууламж сайжирч, эсэргүүцэл буурна [1].

Чөлөөт ус нь ердийн усны бүх шинжийг агуулах бөгөөд ямагт хөдөлгөөнтэй байдаг. 0<sup>0</sup>-д чөлөөт ус хөлдөж хөрсөнд мөс хэлбэрээр оршино. Чийгтэй элсэрхэг хөрсний шинж чанар 0<sup>0</sup>-д огцом өөрчлөгдөнө [2].

Хөрсний хатуу хэсгүүдийн хоорондох завсар зайлхайд оршиж, чөлөөтэй хөдөлж байгаа усыг чөлөөт ус гэх ба энэ төрлийн усны найрлага, бүтцээс хөрсний хувийн эсэргүүцэл ихээхэн хамаарна. Хөрс нь гарал үүслээсээ хамаарч шавар, шавранцар, элс, элсэнцэр, хар шороо, ойн ба цэцэрлэгийн хөрс, чулуутай ба хадтай гэх мэт олон төрөд хуваагдана. Тухайлбал шавар хөрс нь маш жижиг 0.005 мм хүртэл ширхэгтэй, нүх сүвлэг чанар багатай, ус чийг болон давс ихээр агуулах учир хувийн эсэргүүцэл нь маш бага  $r=8-70$  Ом м байна. Тэгвэл элсэн хөрс нь 0.15 – 5 мм хүртэл томоохон ширхэгтэй уулын чулуулгуудыг агуулж, нүх сүв ихтэй, гадаргуугын ус багатай байх тул доторх ус чийгээ амархан алддаг, хувийн эсэргүүцэл харцангуй өндөр байдаг онцлогтой [3, 4].

#### B. Улаанбаатар хотын хөрсний шинж чанар

Нийслэл хотын нутаг дэвсгэр нь Төв азийн хуурай хээрийн бүсэд багтах эх газрын эрс тэс уур амьсгалтай эргэн тойрон уулсаар хүрээлэгдсэн голын хөндийнүүдийг багтаадаг. Жилийн 4 улирал ялгаа ихтэй, агаарын температурын хэлбэлзэл өндөр байдаг.

### II. ХӨРСНИЙ ШИНЖИЛГЭЭ, ҮР ДҮН

Туршилтад ашигласан элсэрхэг хөрсний дээжид үндсэн хоёр төрлийн шинжилгээ хийсэн. 1-д хөрсний эрдсийн шинжилгээ, 2-т тухайн хөрсний цахилгаан потенциалын хийн цахилалтын зурагт хийсэн шинжилгээ эдгээр болно.

Эрдсийн шинжилгээний хариуг хүснэгт 1-д үзүүлэв. Хүснэгтээс үзэхэд бидний авсан дээжинд 18 нэр төрлийн химийн элементийн нэр бүхий эрдсийг илрүүлсэн байна. Үүнд barium хамгийн өндөр агууламжтай 253 мг/кг, мөн төмөр 190 мг/кг, манган 122 мг/кг хэмжээтэй байна. Үүнээс гадна цайр 65 мг/кг, зэс 44 мг/кг, никель, хар тугалга, төмөр зэрэг металлууд илэрсэн байна. Эдгээр нь тухайн газар нутгийн онцлог, ойр орчмын барилга байгууламж, үйлдвэрийн газруудаас хамаарах талтай.

Хөрсний дээжүүдэд цахилгаан потенциалынх нь тусламжтайгаар хийн цахилалт үүсгэж зургийг нь Экотестер багажаар буулган авч дэлгэц дээрх пикселүүдэд өгч байгаа гэрэлтэлтийн талбайг бүртгэн авч үр дүнг хүснэгт 2, 3, 4-т үзүүлэв.

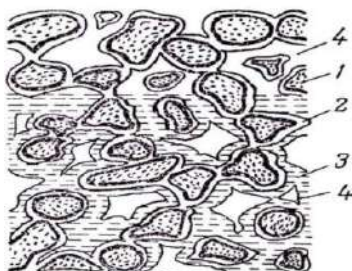
Туршилтыг хийхдээ 3 бүс нутгийн хөрсийг 5 секундын интервалтайгаар 10 удаагийн зураг авч тус бүр 3 удаа давтан авав. Энэхүү багаж нь туршилтанд ашиглаж байгаа объектийн цахилгаан потенциалыг өндөр хүчдэлтэй электродтой харьцуулан цахилалт үүсгэж фото зургийг авдаг багаж юм. Газар нутгийн хөрсний дээж тус бүрт хугацаанаас хамааруулан хийн цахилалт явууллаа.

Онолын хувьд элс хамгийн эсэргүүцэл ихтэй буюу цахилалтын талбайг бага эзлэх ёстой.

1-Р ХҮСНЭГТ. ЭЛСЭРХЭГ ХӨРСНИЙ ЭРДСИЙН ШИНЖИЛГЭЭНИЙ ҮР ДҮН

Эрдсийн хиймлийн нэр	copper	nickel	lead	cadmium	total chromium	hexavalent chrome	zinc	arsenic	hydrargyrum	selenium	silver	beryllium	barium	cobalt	ferrum	manganese	stibium	bismuth
Тэмдэглэгээ	Cu	Ni	Pb	Cd	Cr (T)	Cr <sup>6+</sup>	Zn	As	Hg	Se	Ag	Be	Ba	Co	Fe	Mn	Sb	Bi
Мг/кг	44	30	63	0.12	32	1.7	65	12	0.4	0.1	0.46	0.30	253	13	190	122	0.8	0.16

Гэвч эсэргээрээ байгаа нь түүн доторх чөлөөт усны хэмжээ их байгаа бол энэ нь боломжтой юм.



1-р зураг. Хөрсний дотоод бүтэц. 1-хатуу хэсэг, 2-гадаргуугийн ус, 3-чөлөөт ус, 4-хийн агууламж.

Зураг 3-с чөлөөт ус нь гадаргуугын устай нийлэн хөлдөж эзэлхүүнээ тэлснээр цахилгаан шинж чанарыг багасгаж болох юм [4].

Энэхүү өгүүлэлд манай улсын Говь-Алтай аймгийн элсэрхэг хөрсний дээжийг Хятад улсын болон УБ хотын хөрсний дээжүүдэд хийн цахилгалт хийж үр дүнг харьцуулан корреляцийн шинжилгээг хийв. Туршилтыг ГРВ Экогестер багажийг ашиглан гүйцэтгэж ГРВ зургийн тоон үзүүлэлтийг 2, 3, 4-р хүснэгтэд үзүүлэв.

2-Р ХҮСНЭГТ. УЛААНБААТАРЫН ХӨРСНИЙ ХИЙН ЦАХИЛАЛТЫН ҮР ДҮН

Туршилт 1		Туршилт2		Туршилт 3	
	Үр дүн		Үр дүн		Үр дүн
X1.1	17300	X2.1	17550	X3.1	17740
X1.2	17120	X2.2	17230	X3.2	17830
X1.3	17560	X2.3	17470	X3.3	17620
X1.4	17120	X2.4	17470	X3.4	17100
X1.5	17190	X2.5	17310	X3.5	17480
X1.6	16960	X2.6	17150	X3.6	17380
X1.7	17380	X2.7	16890	X3.7	17280
X1.8	17010	X2.8	17040	X3.8	17060
X1.9	17200	X2.9	16870	X3.9	17230
X1.10	17090	X2.10	16860	X3.10	17220

3-Р ХҮСНЭГТ. ГОВЬ-АЛТАЙ АЙМГИЙН БИГЭР СУМЫН ХӨРСНИЙ ХИЙН ЦАХИЛАЛТЫН ҮР ДҮН

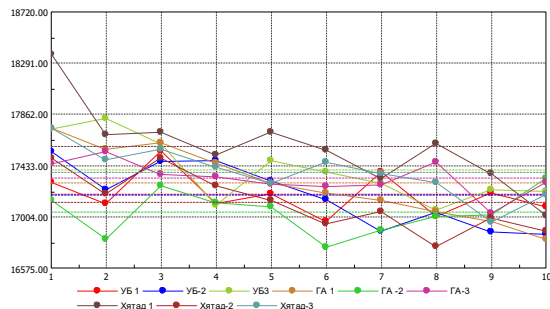
Туршилт 1		Туршилт2		Туршилт 3	
	Үр дүн		Үр дүн		Үр дүн
Y1.1	17750	Y2.1	17150	Y3.1	17450
Y1.2	17570	Y2.2	16820	Y3.2	17550
Y1.3	17620	Y2.3	17260	Y3.3	17360
Y1.4	17450	Y2.4	17120	Y3.4	17340
Y1.5	17290	Y2.5	17120	Y3.5	17280
Y1.6	17200	Y2.6	16750	Y3.6	17260
Y1.7	17050	Y2.7	16890	Y3.7	17270

Y1.8	16970	Y2.8	17010	Y3.8	17460
Y1.9	17750	Y2.9	17020	Y3.9	17030
Y1.10	16810	Y2.10	17320	Y3.10	17290

4-Р ХҮСНЭГТ. БНХАУ-ЫН ХӨРСНИЙ ХИЙН ЦАХИЛАЛТЫН ҮР ДҮН

Туршилт 1		Туршилт2		Туршилт3	
	Үр дүн		Үр дүн		Үр дүн
Z1.1	18370	Z2.1	17490	Z3.1	17740
Z1.2	17690	Z2.2	17200	Z3.2	17480
Z1.3	17710	Z2.3	17490	Z3.3	17570
Z1.4	17520	Z2.4	17260	Z3.4	17420
Z1.5	17710	Z2.5	17110	Z3.5	17280
Z1.6	17560	Z2.6	16950	Z3.6	17460
Z1.7	17320	Z2.7	17050	Z3.7	17370
Z1.8	16620	Z2.8	16760	Z3.8	17290
Z1.9	17370	Z2.9	16990	Z3.9	16960

УБ-дээр цахилгалтын талбайн эзлэх хэмжээ бага байсан. УБ-ын 3-р туршилт дээр цахилгалтын талбай ихссэн нь цахилгалт болох тусам түүний цахилгаан дамжуулах шинж чанар ихсэж байгааг илтгэнэ. ГА болон БНХАУ-ын туршилтаар цахилгаан шинж чанар сайтай буюу цахилгалт их талбайг эзэлж буйг харж болно. Хятадын цахилгаан шинж чанар хамгийн өндөр байна.



2-р зураг. Хөрсний дээжүүдийн хийн цахилгалтын гэрэлтэлтийн талбайн өөрчлөлт муруй

А. Туршилтын үр дүнгийн боловсруулалт. Корреляцийн шинжилгээ

Корреляцийн шинжилгээгээр Х, Y хоёр санамсаргүй хэмжигдэхүүн хоорондын хамаарлыг судална. Түүвэр нь (x1, y1),..., (xn, yn) хэлбэртэй байх ба түүврийн утгуудын хамаарал нь түүврийн ковариаци, эсвэл түүврийн корреляцийн коэффициентээр хэмжигдэнэ.

$$S = S_{xy} / S_x S_y \quad (1)$$

Хөрс хоорондын шинжилгээг Матлаб программ дээр гүйцэтгэлээ.

1. Улаанбаатар-Говь-Алтай аймгийн хөрсний хоорондын хамаарлыг корреляцийн

шинжилгээгээр тооцоходоо у -ын угтанд УБ хот, х-ийн угтанд Говь-Алтай аймгийн хөрсний хийн цахилгалтын шинжилгээний үр дүнг орлуулав.

$$y = [1.78e+04 \ 1.76e+04 \ 1.76e+04 \ 1.75e+04 \ 1.73e+04 \ 1.72e+04 \ 1.71e+04 \ 1.71e+04 \ 1.70e+04 \ 1.68e+04];$$

$$x = [1.73e+04 \ 1.71e+04 \ 1.76e+04 \ 1.71e+04 \ 1.72e+04 \ 1.70e+04 \ 1.74e+04 \ 1.70e+04 \ 1.72e+04 \ 1.71e+04];$$

Корреляцийн шинжилгээний үр дүн:  $\text{corrcoef}(x,y)$

$$r = 0.3540 \text{ буюу сул хамааралтай байна. [5]}$$

2. 1-р туршилтын үр дүнгээр Улаанбаатар-БНХАУ-ын хоорондох хөрсний корреляцийн коэффициент нь  $\text{corrcoef}(x,z)$   $r = 0.1108$  буюу хамааралгүй байна.

3. 1-р туршилтын үр дүнгээр БНХАУ-Говь-Алтай аймгийн хоорондох хөрсний хамаарал корреляцийн коэффициент нь  $r = 0.7629$  буюу хүчтэй хамааралтай гэсэн үр дүн гарч байна.

4. 2-р туршилтийн үр дүнгээр Улаанбаатар – БНХАУ-ын хөрсний корреляцийн коэффициент нь  $r = 0.1108$  буюу хамааралгүй байна.

5. 2-р туршилтын үр дүнгээр Улаанбаатар – Говь-Алтайн хөрс хоорондын корреляцийн коэффициент нь  $r = 0.8260$  буюу хүчтэй хамааралтай.

6. 2-р туршилтын үр дүнгээр Говь-Алтай–БНХАУ-ын хөрсний корреляцийн коэффициент нь  $r = 0.6419$  буюу хамааралтай.

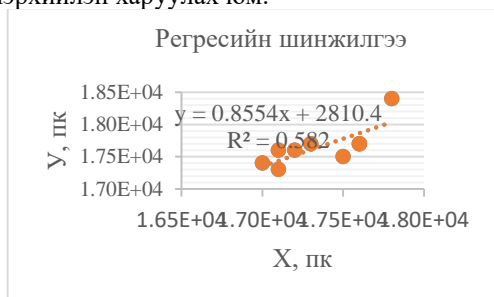
7. 3-р туршилтын үр дүнгээр Говь-Алтай–БНХАУ-ын хөрсний корреляцийн коэффициент нь  $r = 0.7243$  буюу хүчтэй хамааралтай.

8. 3-р туршилтийн үр дүнгээр Улаанбаатар – Говь-Алтай-н хоорондын хөрсний корреляцийн коэффициент нь  $r = 0.591$  буюу хамааралтай гэсэн үр дүн гарч байна.

9. 3-р туршилтын үр дүнгээр Улаанбаатар – БНХАУ-ын хөрсний корреляцийн коэффициент нь  $r = 0.6647$  буюу хамааралтай гэсэн үр дүн гарлаа.

#### *В. Регрессийн шинжилгээ*

Регрессийн шинжилгээнд Y-ийн X-ээс хамаарсан хамаарал гэдэг нь Y санамсаргүй хэмжигдэхүүний математик дундаж нь X-ээс хэрхэн хамаарахыг математик функцээр илэрхийлэн харуулах юм.



3-р зураг. Регрессийн шинжилгээний үр дүн

Иймээс  $u$  нь X-ээс хамаарсан хамаарал ба  $u = u(x)$  нь энгийн функц ба  $u(x)$  функцийг графикийг регрессийн муруй гэнэ.

$$u(x) = b_0 + b_1x \quad (2)$$

Корреляцийн хүчтэй хамааралтай БНХАУ-ын Шилийн гол аймгийн болон Говь-Алтай аймгийн хөрс хоорондын регрессийн тэгшитгэлийг бичвэл:

$$y = 0.8554x + 2810.4 \quad (3)$$

ба нөлөөмжийн коэффициент  $R = 0.582$  байна. Энэ нь хөрс хоорондын физик шинж чанар ба эрдсийн агууламжаар нь мөн цахилгаан шинж чанарыг цаашид нарийвчлан судлах боломжтой гэдгийг илтгэнэ.

### **III. ДҮГНЭЛТ**

Туршилтын явцад хөрсний дээжүүдээс үүсч байгаа хийн цахилгалт нь хугацаанаас хамааран гэрэлтэлтийн талбай нь багасаж байгаа нь цахилгаан даац сайжирч байна гэж үзэж байна. Улаанбаатар хотын хөрсний дээжид эхний туршилтанд  $X_{1.1} = 17300$  байсан бол  $X_{1.10} = 17090$  ба тэдгээрийн ялгавар  $dX = 210$  байна.

Говь-Алтай аймаг болон Улаанбаатар хот хоорондын хөрсний хамаарал сул ба БНХАУ-Улаанбаатар хөрсний хамааралгүй гарч байгаа нь дараах шалтгаануудтай байх боломжтой. Үүнд:

- Хөрсний ангилалын хувьд өөр буюу БНХАУ ба Говь-Алтайн хөрсний дээж нь элс байсан бол Улаанбаатар хотын дээж элс, хар хөрс холилдсон байсан.

- Улаанбаатарын хөрсийг хүйтний улиралд авчран шууд туршсан тул бүтцийн хувьд өөрчлөгдсөн буюу хөрсний дотоод ус мөсжсөнтэй холбоотой байж болно. Улаанбаатар хот болон Говь-Алтай аймгийн хөрсний дээжүүдийн хоорондын хамаарал сул байгаа нь огт хамааралгүй гэсэн үг биш нэг бүс нутгийн хувьд шинж чанар давтагдаж байгааг илтгэнэ.

Харин Говь-Алтайн болон Хятадын хөрсний дээж хооронд хүчтэй нөлөөтэй  $r = 0.7629$  байгаа нь хөрсний дээжүүдийн шинж чанар найрлагаас хамаарсан байж болно. Хэдий хоорондын хамааралтай гэсэн хариу гарсан боловч энэ нь тийм ч хүчтэй биш (төгс биш) байгаа нь тухайн бүс нутгийн хөрсний онцлогоос хамаарсан байх магадлалтай юм. Үүнд: физик, механик шинж чанар илүү хамаарна.

### **IV. НОМ ЗҮЙ**

- [1] Чүлтэмжамц, Т. (2019) Зүүн түгээх төвийн дэд станцуудын хөрсний цахилгаан эсэргүүцэл ба газардуулах байгууламжийн судалгаа.
- [2] Дашжамц, Д. нар (2013) Инженерийн геологи.
- [3] Гончигсумлаа, Ч (2008) Хөрс судлал, үүсэл, тархалт, ангилал.
- [4] Очирбат, Б. нар (2019) Математик.
- [5] [Хөрсний төрөл, шинж чанар, тэдгээрийг цэцэрлэгтээ хэрхэн ашиглах](#) | Хөрсний бүтэц ангилал

## ГИДРОПОНИКИЙН АВТОМАТЖУУЛСАН СИСТЕМИЙН ЦАХИЛГААНЫ ХЭРЭГЛЭЭГ СЭРГЭЭГДЭХ ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ ЭХ ҮҮСВЭРЭЭР ШИЙДЭХ СУДАЛГАА

Б.Түвшинжаргал<sup>1</sup>, А.Гантогтох<sup>1</sup>, Д.Уянга<sup>1</sup>, Т.Ганцолмон<sup>1</sup>,  
Ц.Нямтулга<sup>1</sup>, М.Сувд<sup>1</sup>, Д.Ууганзаяа<sup>1</sup>, Л.Сүхболд<sup>1</sup>, Э.Мөнхтуяа<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Дулааны инженерийн салбар  
[asatogtoh1@gmail.com](mailto:asatogtoh1@gmail.com)

*Хураангуй*–Манай улсад иргэд болон аж ахуйн нэгж байгууллагууд олон төрлийн хүлэмжийг ашиглаж байгаа хэдий ч ихэнх нь зөвхөн зуны хүлэмжийг ашиглаж байна. Хэрэглэгчдийг жилийн турш нарийн ногоогоор хангахын тулд байнгийн ажиллагаатай, байгалийн бэрхшээлтэй нөхцлөөс хамгаалсан, ургамал ургах боломжтой нөхцлийг бүрдүүлсэн гидропоник хүлэмжийг нэвтрүүлэх нь зүйтэй байна. Манай оронд гидропоник тариалалт нь шинэ технологи бөгөөд өрхийн хэрэглээний нарийн ногоогоо өөрсдөө тарьж шинэ, тэжээллэг бүтээгдэхүүн хэрэглэж болохуйц учраас илүү автоматжуулан хөгжүүлэх шаардлагатай байна. Хүлэмжийн аж ахуйг хүний оролцоогүй ухаалаг байдлаар шийдэхийн тулд автоматжуулах, цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээг сэргээгдэх эх үүсгүүрээр бүрэн хангах тооцоо, судалгааг хийж, хэрэглээнд нэвтрүүлэх нь чухал юм. Сэргээгдэх эрчим хүч, шинэ арга техник, программ хангамжийг ашиглан автоматжуулсан системийг хэрэгжүүлснээр гидропоник хүлэмжийн системийн үр ашгийг дээшлүүлж, жилийн дөрвөн улиралд хүнсний нарийн ногоо тариалж хэрэглэгчдийн эрэлт хэрэгцээнд нийцсэн экологийн цэвэр бүтээгдэхүүн үйлдвэрлэн импортын хараат байдлыг шийдэж болно.

*Түлхүүр үг*–Нарны эрчим хүч, автоматжуулсан хүлэмж, гидропоник.

### I. УДИРТГАЛ

Дэлхийн хүн ам өдөр бүр нэмэгдэж байгаа бөгөөд 2050 онд 9.3 тэрбумд хүрэх төлөвтэй байна [1]. Монгол улсын нийт хүн ам 2017 оны байдлаар 3,177,899 байсан бол энэ тоо тасралтгүй нэмэгдэж 2021 оны байдлаар 3,357,542 болсон ба цаашид ч тасралтгүй өсөх хандлагатай юм [2]. Ковид 19 цар тахал, олон улсын нөхцөл байдлаас үүдэн хил гааль, ачаа тээврийн саатлын улмаас хэд хэдэн удаа нарийн ногоо, жимс жимсгэнэ, бараа бүтээгдэхүүний хомсдол үүсч, өргөн хэрэглээний барааны үнэ өдөр ирэх тусам өссөөр байна. Олон улсын жишгээс харахад аливаа улс орон хүнсний хэрэгцээнийхээ 30-аас дээш хувийг импортоор, түүний дотор 20-оос дээш хувийг нэг улсаас авдаг бол хүнсний баталгаа алдагдаж, хараат байдалд орсон гэж үздэг. Монгол улс хүнсний ногооныхоо 40 хувийг импортоор авдаг бөгөөд татварт мэдээлсэн дүнгээр жилдээ 25 сая ам.долларын нарийн ногоо гаднаас оруулж ирдэг гэсэн судалгаа байна.

Импортоор ирсэн ногоо нь хүлэмжээс хэрэглэгчдийн гарт хүртлээ олон дамжлага дамжин өртөг нь өсч, чанар нь муудаж ирдэг. Манай орны байгаль цаг уурын хувьд эрс тэс, хүйтэн сэрүүн уур амьсгалтай, хавар орой дулаарч, намар эрт хүйтэрч, хахир хүйтэн өвөлтэй тул ил талбайд нарийн ногоо ургуулахад төвөгтэй, ургамлын болц гүйцдэггүй сул талтай. Калифорнийн их сургуулийн доктор Виллиам Ф.Грике 1920-30-аад оны үед орчин үеийн гидропоник системийг боловсруулж эхэлсэн [3]. Дэлхийн II дайны үеэс цэргүүдийг хоол

тэжээлээр хангахын тулд уг технологийг туршиж эхэлсэн бөгөөд тэнгисийн цэргийн хүчний цэргүүд ихээр ашиглаж байсан ба өөрсдийн байрлаж байсан номхон далайн жижиг арлуудад шинэ ногоо тариалах боломжийг бий болгосон. 1950-аад оноос хойш Америк, Итали, Испани, Франц, Англи, Герман, Швед, ЗХУ, Изриал зэрэг улс орон бодит хэрэглээнд зориулсан гидропоник технологиор хүнсний ногоог тарьж эхэлсэн. Түүнээс хойш эдгээр системүүд ургамлын өсөлтөнд хэр сайн нөлөөлж байгаа тухай ихээхэн хэмжээний судалгаа хийгдсээр ирсэн ба Япон улс автоматжуулсан гидропоник хүлэмжийн технологиор тэргүүлж байна. Олон улсын туршлагаас харахад сүүлийн жилүүдэд гидропоник систем хөгжиж, орчин үеийн хөдөө аж ахуйн үйлдвэрлэлийн салшгүй хэсэг болсон. Гидропоник нь шороо хэрэглэхгүй, хортон шавьж үржихгүй, хурдан ургалттай, ургацын гарц их, усны хэрэглээ бага, хаана ч ургуулах боломжтой, цаг уурын өөрчлөлтийн эрсдэлгүй гэх мэт давуу талуудтай [3]. Гидропоник аргаар ургуулсан ургамлууд нь энгийн хүлэмжинд ургуулснаас 30-50% хүртэл хурдан ургадаг бөгөөд илүү чанартай хүнсний ногоо, жимс жимсгэнэ хураан авна. Гидропоник тариалалтын үед хөрс шороо ашиглахгүй тул хөрсөнд байдаг хортон шавьж хогийн ургамал ургахгүй, гирбицит, пестицитийн хэрэглээг арилгаж, уламжлалт газар тариалангаас хэд дахин их хэмжээний хүнсний ногоог хураан авах боломжтой. Гидропоник тариалалтын үндэс нь ургамал ургахад шаардлагатай тэжээлийн бодис бүхий уусмалд ургамал ургуулах арга юм.

## II. ХӨРСТЭЙ БА ХӨРСГҮЙ ТАРИАЛАЛТ

Ургамал нь хүрээлэн буй орчин, хөрс, агаар, уур амьсгалтай нягт холбоо хамааралтайгаар ургадаг. Ургамлын хөгжлийн үед ихэвчлэн ус, эрчим хүч солилцохын тулд хүрээлэн буй орчинтойгоо тогтмол харилцан холбоотой байдаг учраас гаднах орчны усны түвшин, дулаан, эрдэс бодисоос хамааралтай ургацын хэмжээ буурч ургамал гэмтдэг. Зураг 1-г хөрстэй ба хөрсгүй тариалалтыг харуулав.



1-р зураг. Хөрстэй ба хөрсгүй тариалалт

Зураг 1-ээс харахад уламжлалт хөрсний тариалалтын хувьд газар доорх ургамлын үндэс их харин ургац нь бага байдаг бол гидропоник тариалалтын хувьд усанд байх үндэс бага харин ургац нь их байдаг онцлогтой тул ургац ахиу авах боломжтой.

### A. Хөрстэй технологи-уламжлалт тариалан

Ургамал нь хүрээлэн буй орчин, хөрс, агаар, уур амьсгалтай нягт холбоо хамааралтайгаар ургадаг. Ургамлын хөгжлийн үед ихэвчлэн ус, эрчим хүч солилцохын тулд хүрээлэн буй орчинтойгоо тогтмол харилцан холбоотой байдаг учраас гаднах орчны усны түвшин, дулаан, эрдэс бодисоос хамааралтай ургацын хэмжээ буурч ургамал гэмтдэг. Хөрс ашигласан уламжлалт газар тариаланг эрхлэхэд олон хүчин зүйлс нөлөөлдгөөс хөрсний агаар нэвтрэх чадвар, түүнд агуулагдах эрдэс бодисын хэмжээ, хөрсний усны агууламж, цаг уур, нарны туяа зэрэг орно. Манайх шиг эрс тэс уур амьсгалтай, жилийн дөрвөн улиралтай улсад, өвөл зунгүй эрхэлж болох хүлэмжийн аж ахуй их хэрэгтэй байна. Гэвч зардал өртгийн хувьд өндөр учраас манайхан зуны хүлэмжийг илүү сонгодог.

### B. Хөрсгүй технологи-гидропоник

Гидропоник гэдэг нь *hydro* (ус, усан орчин), *ponic* (ажил үйлдвэрлэл) гэсэн латин үгнээс гаралтай. Гидропоник систем нь зөвхөн ус, шим тэжээл бүхий ургамал ургах орчинг ашиглан хөрс, шороо ашиглахгүйгээр ургамал ургуулах арга юм. Хөрсний оронд наржил модны кокос, перлит, базальт гэх мэт төрөл бүрийн тэжээл, барилгын материалыг ашиглаж болно [2]. Гидропоник технологийн давуу тал:

*Илүү их ургац* - НАСА-аас хийсэн судалгаагаар хөрсөнд суурилсан тариалалттай харьцуулахад гидропоник тариалалтын арга ижил нөхцөлд хөрсөнд ургасан ургамлаас 30-50% хурдан ургана.

*Хортон шавьж устгах химийн бодис ашиглахгүй* –гидропоник нь шим тэжээлийг ургамлын үндсэнд усаар дамжуулан шууд өгдөг тул нэмэлт бордоог бага шаардаж, хортон шавьж устгах шаардлага гарахгүй.

*Орон зай хэмнэх* –Гидропоник нь бага талбайд ихээхэн хэмжээний ургамал тариалах боломж олгодог.

*Илүү ухаалаг* - Гидропоник технологийг ашигласнаар ургамал ургах таатай нөхцөлд дүн шинжилгээ хийх боломжтой.

*Усны хэмнэлт* - Гидропоник тариалангийн арга нь хуурай уур амьсгалтай, ургамал ургах боломж багатай цөлөрхөг, элсэрхэг бүс нутагт ашиглаж болно. Усалгаа, ууршилт бага тул усыг хэмнэнэ.

*Ажиллагаа бага*- Хог ургамал ургахгүй, нэмэлт бордоо хийх шаардлагагүй тул хүн-цагийг хэмнэнэ. Гидропоник нь өдөр тутмын ажиллагаа бага байна.

*Ашиглалт* – Хот, хөдөө орон нутаг, үйлдвэр, хувийн сууц, оффисийн хаана ч байршуулан ашиглах боломжтой.

Гидропоник технологийн сул тал: Төхөөрөмжийн ажиллагаа автомат тохируулгатай тул байнгийн цахилгаан эрчим хүч хэрэгтэй. Халдвар хамгаалал, технологийн горимыг чанд мөрдөөгүйгээс халдвар авсан тохиолдолд ургамал бүхэлдээ өвчлөнө. Анхны хөрөнгө оруулалт, систем худалдан авах зардал харьцангуй өндөр байна. Автомат систем шаардлагатай байх тул техникийн гэмтэл эрсдэл гардаг. Техникийн гэмтэл гарах, цахилгаан эрчим хүч тасарсан тохиолдолд ургамлын үндэс хатдаг.

## III. ГИДРОПОНИК ТЕХНОЛОГИЙН ТӨРӨЛ

Гидропоник системийн үндсэн 6 төрөл байна [4]. Эдгээр үндсэн төрлийн системүүдийн олон зуун хувилбарууд байдаг боловч бүх гидропоник аргууд нь эдгээр зургаагийн хувилбар (эсвэл хослол) юм.

Голтой систем, усанд суурилуулах систем, шахуургат усан систем, дулаар буюу бичил усалгааны систем, N.F.T. (Nutrient Film Technology), мананцар үүсгэх системийн төрлүүд байдаг.

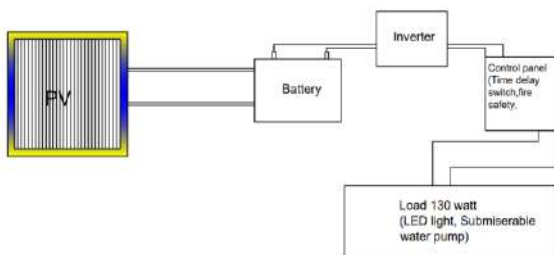
Манай улсын хувьд ч энэхүү технологийг амжилттай ашиглаж буй туршлага байна. “Монгол базальт” ХХК нь өөрийн үйлдвэрлэдэг чулуун хөвөнг ашиглан гидропоник тариалалтыг нэвтрүүлээд байна. Тиймээс манай улс оронд гидропоник тариалалт амжилттай нутагшин хөгжих боломж их юм.



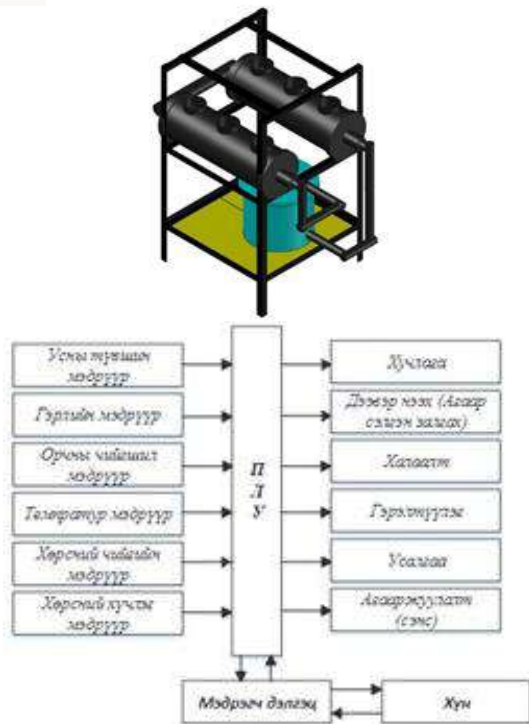
2-р зураг. “Монгол базальт” ХХК-ийн чулуун хөвөн дээр тарьсан хөрсгүй тариалалт

#### IV. АВТОМАТЖУУЛСАН ХҮЛЭМЖИЙН СИСТЕМ

Автоматжуулсан гидропоник системийн блок диаграмм нь үндсэн цахилгаан хангамж, цахилгаан тоолуур, гэрлийн мэдрүүр, температур мэдрүүр, хөрсний чийгийн мэдрүүр ба хяналтын систем, гидропоник тариалсан ургамал, Wi-Fi модуль, онлайн мэдээллийн сан гэсэн үндсэн хэсгээс бүрдэнэ. Аливаа гидропоник системд рН, цахилгааны хэрэглээ, хүрээлэн буй орчны температур, савны усны түвшин зэрэг тодорхой хязгаарт байх ёстой хэд хэдэн чухал параметрууд байдаг [9]. Ерөнхий зохион байгуулалтыг Зураг 3-т үзүүлэв.



3-р зураг. Төхөөрөмжийн угсралтын ерөнхий схем



4-р зураг. Автоматжуулсан гидропоник системийн 3D зураг

Автомат гидропоник хүлэмжийн системийн цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээг сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсвэр ашиглан шийдэх боломжтой. Энэхүү системд НЭ-10-12 загаварын 10Вт чадалтай, 17,2В хүчдэлтэй, 0,58А гүйдэлтэй, поликристал нарны цахилгаан үүсгүүрийг суурилуулахаар сонгож тооцоог хийв.

#### 1-Р ХҮСНЭГТ. ГИДРОПОНИК СИСТЕМ ИЙН БҮРЭЛДЭХҮҮН

Д.д	Гидропоник системийн бүрэлдэхүүн	Хүчин чадал
1	Гэрэлтүүлэг	60Вт
2	Эргэлтийн насос	25Вт
3	Автомат удирдлага, мэдрүүр	5Вт
Нийт хүчин чадал:		90Вт

Нарны цахилгаан үүсгүүрийг гурваар цуваа, гурваар зэрэгцээ холбох бөгөөд 51,6В хүчдэл, 1,74А гүйдэл, 89,8Вт чадалтай системийг угсарч, гидропоникийн автоматжуулсан схемийг ажиллуулна.

Гидропоник системийг хаана ч байрлуулан ашиглаж болохоос гадна зөөврийн контэйнер хэлбэрээр ашиглаж болно.

#### V. ДҮГНЭЛТ

Гидропоник системийн цөм нь ургамлын эрүүл өсөлтийг хангахын тулд хүрээлэн буй орчны параметруудийг хадгалах, хянах, тэжээл, усаар үр дүнтэй хангах явдал юм. Шинэ арга техник, программ хангамжийг ашиглан автоматжуулсан системийг хэрэгжүүлснээр хүлэмжийн системийн үр ашгийг нэмэгдүүлнэ. Автоматжуулсан гидропоник системийн бий болгоход шаардлагатай параметруудыг төлөвлөсөн. Wi-Fi-модуль нь микроконтроллерт холбогдсон бөгөөд мэдрэгчээс авсан бүх өгөгдлийг хүлээн авах боломжтой. Энэхүү систем нь рН, ЕС, усны түвшин, чийгшил, температур гэх мэт мэдрэгчийн бүх утгууд, системийн эрчим хүчний зарцуулалтыг Wi-Fi модулиар дамжуулан вэб сервер рүү илгээнэ. Энэ төрлийн технологийг ашигласнаар сэргээгдэх эрчим хүчний эх үүсвэрийг ашиглах, эрчим хүчний хэмнэлттэй байх, эдийн засаг, экологийн үр ашиг өндөртэй хөдөө аж ахуйн салбарыг хөгжүүлэх боломжтой. Дүгнэж хэлэхэд, энэхүү автоматжуулсан, хэмнэлттэй гидропоник системийн шийдлийг өргөнөөр нэвтрүүлснээр навчит шинэ ногоогоор хэрэглэгчдийн хэрэгцээг хангаж, импортын хараат байдлыг бууруулж чадна.

#### VI. НОМ ЗҮЙ

- [1] Rónay, K., Dumitru CD, Gligor A. Management of a Power System Based on Renewable Energy, Scientific Bulletin of the Petru Maior University of Tîrgu Mureş, 2012; 9(1): 38-42
- [2] Bică D., Dumitru CD, et. Al. Isolated Hybrid Solar-Wind-Hydro Renewable Energy Systems,



- Renewable Energy, in InTech, December 2009, Available from: <http://www.intechopen.com/-articles/show/title/isolated-hybrid-solar-windhydro-renewable-energy-system>.
- [3] Sorensen B. Renewable Energy: Its physics, engineering, use, environmental impacts, economy and planning aspects, 3rd Edition, Elsevier Academic Press, London, UK, 2004
  - [4] Soteris K. Solar Energy Engineering - Processes and Systems. 1st Edition , Elsevier Academic Press UK, 2009.
  - [5] Mahaidayu, M.G.; Nursyahid, A.; Setyawan, T.A.; Hasan, A. Nutrient Film Technique (NFT) hydroponic monitoring system based on wireless sensor network. In Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (Commnetsat), Jawa Tengah, Indonesia, 5–7 October 2017; pp. 81–84.
  - [6] Gertz E, Di Justo P, Environmental Monitoring with Arduino, Maker Media, Inc, 2012
  - [7] Hastings R, Wall M, Sustainable Solar Housing - (Vol 1), Earthscan, 2009
  - [8] Keyhani A, Marwali M, Integration of Green and Renewable Energy in Electric Power Systems, Wiley, 2010
  - [9] Mukund R, Wind and Solar Power Systems, CRC Press LLC, 2000
  - [10] Blum J, Exploring Arduino. Tools and Techniques for Engineering Wizardry, John Wiley & Sons, Inc. Indianapolis, Indiana, 2013
  - [11] Renu Sharma, Sonali Goel, Performance analysis of a 11.2 kWp roof top grid-connected PV system in Eastern India, Energy Rep. 3 (2017) 76–84.

## МОНГОЛ УЛСАД ХЭРЭГЛЭЖ БАЙГАА ЦАХИЛГААН ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ ТООЛУУРЫН АШИГЛАЛТЫН ЗАРИМ АСУУДАЛ

Б.Өсөхбаяр<sup>1</sup>, Л. Номин<sup>1</sup>, Э. Болдбаатар<sup>1</sup>, С.Эрдэнэтуяа<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Монгол Улсын Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургууль, Эрчим Хүчний Сургууль  
[B191050600@must.edu.mn](mailto:B191050600@must.edu.mn), [b191050601@must.edu.mn](mailto:b191050601@must.edu.mn), [b191050670@must.edu.mn](mailto:b191050670@must.edu.mn), [Erdenetuya.s@must.edu.mn](mailto:Erdenetuya.s@must.edu.mn)

*Хураангуй*–2022 оны байдлаар монгол улсын цахилгаан эрчим хүчний хяналт тооцоололд ашиглаж байгаа цахилгааны тоолууруудын техникийн үзүүлэлт ба функциональ үйл ажиллагааг харьцуулан судалсан. Манай орны онцлог байдал, импортлогч орон, эрчим хүчний худалдан авагчийн нэг хэрэглэгчтэй, шударга өрсөлдөөнт зах зээлийн нөхцөл байдалд цахилгаан эрчим хүчний тоолууруудын цаашдын хэрэглээг тоолуурын нэгдсэн системийн жишигтэй хэрхэн нийцэх, ямар нөхцөл байдал тулгамдаж байгаад дүгнэлт хийсэн болно.

*Түлхүүр үг*–Цахилгаан эрчим хүч, тоолуур, ашиглалт, хэрэглээ, нэгдсэн систем, эрчим хүчний хяналт, тооцоо.

### I. УДИРТГАЛ

Монгол улсад хэрэглэгдэж буй тоолууруудыг аж ахуйн нэгж байгууллагууд стандартын дагуу хэмжих хэрэгслийг загварын туршилтад оруулан “Стандарт хэмжил зүйн газар”-т шалгаж, улсын мэдээллийн нэгдсэн санд бүртгүүлдэг. Одоогийн байдлаар 1962-2022 оны хооронд бүртгэсэн тоолууруудыг идэвхитэй ашиглаж байна. Мөн ашиглалтын хугацаа хэтэрсэн маш олон тоолууруудын хугацааг сунгаж баталсан нийт тоолуурын 26,57% -ийг дахин ашиглахыг зөвшөөрсөн байна. Монгол улсын ихэнх барилга байгууламжууд ОХУ-ын тусалцаатайгаар баригдсан, мөн цөөнгүй хэсэг барилгуудын цахилгаан схем нь анхны суурилуулсан тоолууруудтайгаа одоо хүртэл ашиглагдаж байна [1].

1960-аад оноос Монголын барилгууд энгийн (хайрцган) архитектурын хэлбэрт орсон байна. Ийнхүү сууринд орон сууц, засаг захиргаа, сургууль, цэцэрлэг, клуб, улаанбулан, эмнэлэг, зочид буудал, худалдаа ахуйн үйлчилгээ зэрэг орон сууц, олон нийтийн барилга барьж, түүнийг дагасан гэр хороолол бүхий суурьшлын бүс бий болж явсаар өнөөдрийг хүрчээ. Энэхүү жишээнээс харахад манай улсад одоог хүртэл 10-20 жилийн насжилттай тоолууруудыг хугацаа хэтрүүлэн 50- 60 жил ашиглаж байгаа нь ашиглалтын хугацааг олон дахин сунгаж зөвшөөрсөнтэй холбоотой.

Аливаа тоног төхөөрөмж нь өөрийн гэсэн ашиглалтын болон найдвартай ажиллагааны чанарын үзүүлэлттэй байдаг. Үүнийг хэтрүүлвэл аль нэг техникийн үзүүлэлт нь мэдэгдэхүйц ба үл мэдэгдэх байдлаар доголдож эхэлдэг. Иймд хугацааг хэтрүүлэн ашиглах нь олон жилийн хугацаанд хуримтлагдсаар хэвийн ажиллагаанд нөлөөлж, хэмжих хэрэгслийн өөрийн зөвшөөрөгдөх алдааг нэмэгдүүлж байдаг.

Хэмжих хэрэгслийн нарийвчлалын ангиас гадна нэмэлт алдаа үүсэх нь цахилгаан эрчим хүч түгээх, хуваарилах, төлөвлөх, тооцоолоход

тодорхой бус байдал үүсгэж эдийн засгийн алдагдалд хүргэдэг нь үүнтэй шууд хамааралтай гэж үзэж байна. Мөн хэт ачаалалын үеийн хэрэглээний төлбөр тооцоонд хэрэглэгчдээс авах мөнгөн дүнд зөрүү үүсч ашиггүй зарцуулалт буюу алдагдал бий болдог. Эдгээр нь бага хэмжээтэй мэт боловч улсын хэмжээнд нийтээр нь авч үзэхэд маш их хэмжээний ашиггүй зардал болж хувирдаг. Эдгээр тоолууруудыг улсын хэмжээнд шинэчлэн сайжруулахад хөрөнгө оруулалт их хэмжээгээр шаардагдана. Энэ нь хувь хүн эсвэл албан байгууллагуудын хувьд хэтэдсэн асуудал тул улсаас дэмжлэг, санхүүжилтгүйгээр хэрэгжүүлэх боломжгүй юм.

Хэт ачааллын үед хөрш улс болох Орос улсаас өндөр үнээр цахилгаан авч, буцаан үнэ төлбөргүй өгөхөөс гадна хэрэв хэмжээнээс хэтрүүлэн нийлүүлбэл нэмэлт төлбөр төлдөг. Гагцхүү энэ хэрэглэж буй эрчим хүчний хэмжээнд өөрчлөлт оруулж, хэрэглэгчдээс авах мөнгөн дүн буурсан нь буцаад хөрш улсаас эрчим хүч худалдан авахад алдагдал учруулж байгаа зэрэг үр дагаврыг төр засаг заавалтооцдог байх нь зөв.

Монгол улсын хувьд 1 фазын, 3 фазын, 1 ба 3 фазын тоолууруудыг ашигладаг. Тоолууруудын элементийн баазын хувьд электрон, механик, импульсийн болон импульсийн электрон гэж ангилна. Одоогийн байдлаар 148 төрлийн тоолууруудыг “Мэдээлэл хэмжлэгийн нэгдсэн сан”-д бүртгүүлснийг идэвхитэй ашиглаж байна.



1-р зураг. Тоолуурын ажиллах зарчмын ангилалд эзлэх хувь



2-р зураг. 1 ба 3 фазын ЭХ-ийн тоолуурын үйлдвэрлэгч орны эзлэх хувиар ангилсан диаграмм

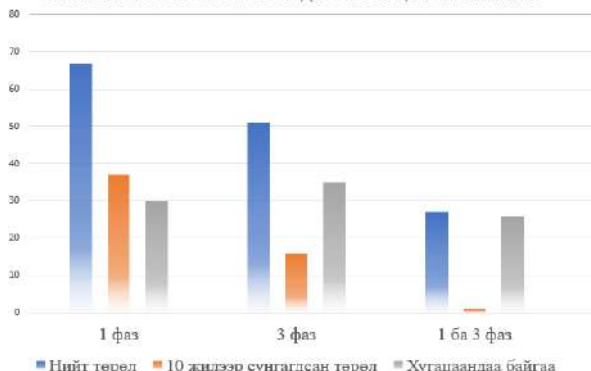
ЦЭХ-ий тоолууруудыг төрлөөр нь авч үзвэл, электрон 73%, механик 24%, импульсийн 2%, импульсийнэлектрон 1%-г эзэлж байгааг зураг 1-д үзүүлэв [1].

Үйлдвэрлэгдсэн улс орны хувьд дийлэнхийг БНХАУ 61% болон ОХУ 26,5%-г эзэлж байна [1]

Мөн Монгол улсдаа “Санчир Тех” ХХК-ий “Greenmeter GM220” маркын нэг фазын олон тарифт ухаалаг цахилгаан эрчим хүчний тоолуурыг үйлдвэрлэж байна [4].

Зураг 2-оос үзэхэд 1 фазын 67 төрлөөс 11 төрөл, 3 фазын 51 төрлөөс 17 төрөл, 1 ба 3 фазын 27 төрлөөс 3 төрөл нь ашиглалтын хугацаа дууссан ч манай улсын ашиглалтанд хэрэглэгдсээр байна

ТООЛУУРЫН ТӨРӨЛ ТУС БҮР ДЭЭР ХУГАЦААНЫ АНАЛИЗ



3-р зураг. ЦЭХ-ний Тоолуурын ашиглалтын хугацаагаар харьцуулсан диаграмм

Үүнээс гадна 1 фазын 37 төрөл, 3 фазын 16 төрөл, 1 фазын 1 төрлийн тоолууруудыг 10 жилээр ашиглалтын хугацааг сунгасан нь нийт тоолуурын 36.5% эзэлж байна. Жишээ нь: ОХУ-д 1962-1975 онд үйлдвэрлэгдсэн СО-2 марктай нэг фазын механик тоолуурыг СХЗГ-ын даргын 2019 оны 8 сарын 9-ий өдрийн А/260 дугаар тушаалаар 10 жилээр сунгаж 2029 он хүртэл буюу нийтдээ 60-70 жил ашиглахаар зөвшөөрөгдсөн нь манай улсын цахилгаан эрчим хүчний нэгдсэн систем дэлхийн эрчим хүчний бодлоготой зэрэгцэн алхахад саад болсоор байна [4].



4-р зураг. Тоолуурын нэгдсэн системийн хамрах хүрээ

Тоолуурын нэгдсэн системд одоогийн байдлаар ажиллаж байгаа 73 дэд станц дээр нэмж, 42 дэд станц нийт дүнгээр 115 дэд станц, эх үүсгүүрүүд холбохоор төлөвлөсөн. Мөн 1268 тоолуур дээр нэмж, 656 тоолуур нийт дүнгээр 1924 тоолуур холбохоор төлөвлөөд байна.

#### 1-Р ХҮСНЭГТ. ТООЛУУРУУДЫН ТӨРӨЛ, ТОО ХЭМЖЭЭ

Төрөл	1 фаз	3 фаз	ба 3 фаз	Нийт
Электрон	42	40	24	106 73,1%
Механик	22	10	3	35 24,14%
Импульс	2	1	-	3 2,02%
Импульсийн нэлектрон	1	-	-	1 0,7%
Нийт	67	51	27	145 100%

Ухаалаг технологид суурилсан эрчим хүчний систем нэвтрүүлснээр:

- Тоолуур, хэмжих хэрэгслийн хувьд бүрэн шинэчлэгдэж сүүлийн үеийн ухаалаг тоолуур тавигдана. Энэ нь Улаанбаатар хотод хийж хэрэгжүүлж буй анхны ухаалаг шугам сүлжээ бий болж, техник технологийн дэвшил бий болно.
- Уг фидерүүдэд техникийн болон арилжааны цахилгааны эрчим хүчний алдагдал /зүй бус хэрэглээ/ буурна. Алдагдал буурснаар эдийн засгийн хувьд ач холбогдолтой ба тэр хэмжээгээр компанийн орлого нэмэгдэж эрчим хүчний системд төвлөрүүлэх мөнгөн дүн нэмэгдэнэ.
- Хэрэглэгчдэд үзүүлэх үйлчилгээний хүндрэлүүд эрс буурна. Хэрэглэгчийн таслалт, залгалт, хяналт шалгалт, тоолуурын заалт зэрэг бүх мэдээллийг алсын зайнаас авч үйлчилгээ үзүүлэх боломж буурна.
- Хүний нөөц, ажиллах хүчний цаг, зардлыг хэмнэх зэрэг ач холбогдолтой юм [5].

#### II. УХААЛАГ ТООЛУУРЫН ЖИШЭЭ, ТҮҮНИЙ ТЕХНИКИЙН ҮЗҮҮЛЭЛТ CE101 S6 60A)

- Нарийвчлал 1; 2
- Ажлын гүйдэл, В 230
- Хүчдэлийн хэлбэлзэл, В 176-265

ОЮУТНЫ ЭРДЭМ ШИНЖИЛГЭЭНИЙ БҮТЭЭЛИЙН ЭМХЭТГЭЛ – 2022

- Давтамж, Гц 50+-2,5
- Гүйдэл (дээд хэмжээ), А 5(60)
- Орчны ажиллах температур, 0-70<sup>0</sup>С
- Холбогдох утасны хэмжээ, мм 6
- Тарифын тоо 4
- Шалгах хугацаа, (жил) 16
- Ажиллах дундаж хугацаа, (жил) 24
- Үйлдвэрийн баталгаат хугацаа, 3жил
- Жин, кг-с ихгүй 0.6

**3-Р ХҮСНЭГТ. 2019.03.11-НЫ А/54 ТООТ ТУШААЛ**

3	“Дэлгэр дулаан хаан” ХХК	Казахстан улсын “SAIMAN” корпораци	Нэг фазын электрон гурван фазын электрон тоолуур	Орман СО-Э711 Отан САРЗУ	2017.07.30-2020.07.30	219	04.001.03-570
4	“Зэт Ди Эн смарт энерги” ХХК	БНЧУ-ын ‘ ZPA Smart energy’ a.s компани	нэг ба гурван фазын цахилгааныэлектрон тоолуур	ZE114,ZE314	2018.04.10-2023.04.10	243	04.001.03 - 581
<b>3 фазын тоолуур</b>							
1	“Сигма энерги” ХХК	БНХАУ, Вень Жоу хотын Фей Е /Feiye/ электроникийн компани	3 фазын урьдчилсан төлбөрт цахилгаан тоолуур	DTSY169	СХЗГ-ын даргын 2019.08.09-ний өдрийн А/260 дугаар тушаал 10 жилээр сунгасан.	231	10.115-163.06
2	“Димарк” ХХК (Сигма энерги)	БНХАУ, Вень Жоу хотын Фей Е /Feiye/ электроникийн компани	3 фазын механик бүртгэгчтэй электрон тоолуур	DTS169	СХЗГ-ын даргын 2019.08.09-ний өдрийн А/260 дугаар тушаал 10 жилээр сунгасан.	242	10.112-183.07
3	"Таван өндөр" ХХК	ОХУ	Гурван фазын гурван утастай механик тоолуур	САЗУ-И670			

**4-Р ХҮСНЭГТ**

Үйлдвэрлэсэн орон	1 фаз	3 фаз	1 ба 3 фаз	Нийт	
БНХАУ	40	31	16	87	60,8%
ОХУ	22	14	4	38	26,57%
ХБНГУ	3	3	-	6	4,2%
Монгол	1	-	-	1	0,7%
БНЧУ	1	-	3	4	2,3%
Казахстан	-	1	1	2	1,4%
Швейцарь	-	2	-	2	1,4%
Польш	-	-	1	1	0,7%
БНГУ	-	-	1	1	0,7%
Лигва	-	-	1	1	0,7%
<b>Нийт</b>	<b>67</b>	<b>51</b>	<b>27</b>	<b>143</b>	<b>100%</b>

Уг тоолуур нь хувьсах гүйдлийн нэг фазын хэлхээнд жижиг хөдөлгүүр болон ахуйн хэрэглээний эрчим хүчийг 4 тарифаар тоолох зориулалттай [6].



5-р зураг. Ухаалаг тоолуур

- 1.Өргөн хүрээний, өргөн хүчин чадал, мэдрэмтгий эхлэх гэх мэт.
- 2.Энэ нь тоолуурын төвлөрсөн уншилт, олон хүү, урьдчилгаа төлбөр, цахилгаан хулгайлахаас урьдчилан сэргийлэх, интернетэд нэвтрэх үйлчилгээний шаардлагыг хангах чиг үүргийг хэрэгжүүлж чадна.
- 3.Бүх хатуу төлөвт нэгдсэн хэлхээний технологийг өгөгдлийг хамгаалах зорилгоор

нэвтрүүлсэн бөгөөд цахилгаан тасарснаас хойш 10 гаруй жилийн хугацаанд өгөгдлийг хадгалах боломжтой.

- 4.Цахилгаан тоолуур дахь цахилгаан эрчим хүчний үлдэгдэл тэг байх үед тоолуур автоматаар унтарч цахилгаан хангамжийг тасалдуулна. Энэ үед хэрэглэгч цахилгаан эрчим хүчийг цаг тухайд нь худалдаж авах хэрэгтэй.
- 5.Цахилгаан карт нь удирдлагын хэлтсийн статистикийн удирдлагад тав тухтай байлгах үүднээс цахилгаан борлуулалтын системд хуримтлагдсан эрчим хүчний хэрэглээ, үлдэгдэл хүч ба тэг огтолцоогүй хүчийг буцааж бичих боломжтой.
- 6.Цахилгаан борлуулалтын програм хангамж нь цахилгаан хэрэглээний өгөгдлийн түүвэрлэлтийн шалгалтыг хийж, шаардлагатай бол хэрэглэгчийн дарааллын тэргүүлэх дээжийг өгөх боломжтой [7].

**Ш. ЦАХИЛГААН ТООЛУУРЫН СЭРГЭЭГДЭХ ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ САЛБАР ДАХЬ ХЭРЭГЖИЛТ**

2015 онд УИХ-аар баталсан “Төрөөс эрчим хүчний салбарт баримтлах бодлого”-д ойрын болон дунд хугацааны хөгжлийн хувилбаруудыг тодорхойлж, сэргээгдэх эрчим хүчний улсын нийт суурилагдсан хүчин чадалд оруулах хувь нэмрийг одоо байгаа 7%-иас 2023 онд 20%, 2030 онд 30%-д хүргэх томоохон зорилт дэвшүүлсэн. Эдгээр зорилтыг хэрэгжүүлэхийн тулд хүчин төгөлдөр мөрдөгдөж буй эрчим хүчний болон сэргээгдэх эрчим хүчний тухай хуулиудад нэмэлт өөрчлөлт оруулсан бол УИХ- аас саяхан Монгол Улсын Эрчим хүч хэмнэлт, үр ашгийн тухай хуулийг шинэчлэн баталлаа. Энэхүү шинэ

хууль тогтоомж нь Монгол Улсад эрчим хүчний аюулгүй байдал, найдвартай байдлыг хангах, эрчим хүчний үр ашгийг дээшлүүлэх, төр, хувийн хэвшлийн түншлэлийг хэрэгжүүлэх, салбарын зах зээлд чиглэсэн тогтолцоог бүрдүүлэх боломжийг олгож байна. Монголын говь нь нар, салхины нөөцөөр асар ихбаялаг юм. Нэмж дурдахад тус улсын их хэмжээний усан цахилгаан станц, газрын гүний дулаан, биомассын нөөцийг илүү их эрчим хүчний хангамжид ашиглах боломж бүрдэнэ [8].

Манай улсын сэргээгдэх эрчим хүчний салбар нь олон улсын жишигт хэрхэн нийцэж байна вэ? Одоогийн байдлаар Монгол улсад салхин, усан болон нарны цахилгаан станцууд байгаа. Эдгээрт суурилагдсан цахилгаан тоолуурууд нь орчин үеийн шаардлага хангасан (Net meter) тоолууруудыг ашигладаг. Үүнээс үзэхэд Монгол улсын сэргээгдэх эрчим хүчний салбарт хэрэглэгдэж буй тоолуурууд нь олон улсын жишигт нийцэж байгаа нь бид дэлхийн хөгжилтэй хөл нийлүүлэн алхахад бэлэн байна.

#### IV. ЭДИЙН ЗАСГИЙН ТООЦОО

Тоолууруудын харьцуулалтаас гарсан алдагдлын зөрөөнд үндэслэгдсэн эдийн засгийн тооцоо, түүний монголын эдийн засгийн тооцоо, түүний Монголын эдийн засгийн үзүүлэх нөлөөг авч үзье.

$$XT=3 * K * AK * Y * T, \text{ ТӨГ}$$

энд: XT – хэрэглэгчийн төлөх төлбөр, төгрөг;  
3 – тоолуурын заалтын зөрүү;  
K – трансформаторын үржих коэффициент;  
AK – алдагдлын коэффициент; Y – үнэ тариф;  
T – НӨАТ, 10% [9].

Нэг айлын сарын дундаж хэрэглээг 250кВт.цаг гэж тооцно. Механик тоолуурын алдаа нь 10 хувьтай тул 225кВт.цаг гэж тооцов.

$$XT= 225\text{кВт.цаг} * 1 * 1,025 * 122,2\text{төг} * 1,1 = 31000,61 \text{ төг}$$

-2 тарифт (ухаалаг) тоолуурын үед:  $XT= 250\text{кВт.цаг} * 1 * 1,025 * 122,2\text{төг} * 1,1 = 34445,13\text{төг}$

Энэ үнэмлэхүй алдаа нь 3444,52 төг болно.

Сонгинохайрхан дүүргээр жишээ авч үзвэл 94132 айл өрх бүртгэгдсэн байна. Энэ дүүрэгт нэг сарын эдийн засгийн алдагдал нь  $94132 * 3444,52 = 324'237'556,64$  төг болж байна.

Үүнийг багасгахын тулд ухаалаг тоолуурын эзлэх хувийг нэмэгдүүлэх нь эдийн засгийн хувьд алдагдалтай байхаар зүйл алга. Харин ч ашигаа өгөх нь тооцоогоор харагдаж байна.

Гэхдээ хэрэглэгч болон нийлүүлэгчид олон тарифт ухаалаг тоолуур бус энгийн механик тоолуур ашиглахыг илүүд үздэг. Шалтгаан нь тоолууруудын хоорондын үнийн зөрүүгээс бий болдог.

Жишээлбэл: “Holley ddssy 283SR” маркын ухаалаг тоолуурын үнэ 220'000 төг бол механик тоолуурын үнэ 33'000 төг байна [10].

Ухаалаг тоолуур тавибал анхны суурилуулалтын зардал их боловч алсдаа тооцоогоор 7 жилийн дотор алдагдлаа нөхөх боломжтой.

$$220000 \div 3444,52 = 63,87$$

Эндээс үзвэл 5 жил 4 сарын хугацаанд бүрэн зарцуулсан зардлаа нөхөх боломжтой байна.

Монгол улс “Тоолуурын нэгдсэн систем”-д бүрэн хамрагдахын тулд нэг төрлийн тоолуур, нэг төрлийн програм хангамжтай болох шаардлагатай. Үүний тулд олон улсын жишгийн дагуу ухаалаг тоолуураар шинэчлэх хэргтэй байна. Иймд бүх шаардлага хангахгүй тоолуурыг шинэчлэх үйл явцад асар их хэмжээний төсөв шаардагдана. Энэ төсвийг хувь хүн болон албан байгууллага бие даан гаргах боломжгүй бөгөөд улсаас гаргах боломж нь бага. Харин гадаадын хөрөнгө оруулалт болон буцатгүй тусламжаар шийдэх боломжтой. Жишээлбэл, Эрчим хүчний яамнаас 2019 оныг “Ухаалаг эрчим хүчний жил” болгон зарласан. “ӨБЦТС” ТӨХК техникийн бодлогын хүрээнд хэрэглэгчдийн тоолуурыг ухаалаг тоолуураар үе шаттайгаар шинэчлэх ажлыг 2019 оноос эхлүүлсэн байна. Ухаалаг тоолуурын суурилуулалтын ажлыг “Эндлэс Энержи” ХХК хийж гүйцэтгэж байгаа бөгөөд Өмнөговь аймгийн Даланзадгад сумын ХТП-7, КТПН-95 дэд станцын 12, 16, 17, 41, 42, 43, 49-р орон сууц, худалдааны төв орчмын аж ахуйн нэгж, үйлчилгээний газруудын 1 фазын 484ш, 3 фазын 56ш тоолуурыг шинэчлэх ажлыг үнэ төлбөргүй хийсэн [10].

#### V. ДҮГНЭЛТ

Механик болон импульсийн тоолуурын тоог 43,6% байгааг бууруулж, хэрэгцээнээс хасахаас гадна ухаалаг тоолуур 56,4% байгааг өсгөх нь зүйтэй. Энэхүү асуудалд төрийн бодлого зайлшгүй шаардлагатай.

- Шугам сүлжээ, тоног төхөөрөмжид гарах тасралт багасаж, засварын зардал үлэмж хэмжээгээр буурна
- Гэр хорооллын айл өрхүүд шөнийн тарифын хөнгөлөлтөд бүрэн хамрагдах болно.
- Хангагч хэрэглэгчийн хоорондын хамтын ажиллагаа сайжирна гэж үзэж байна
- Цахилгаан эрчим хүчний чанар сайжирна, алдагдал буурна, найдвартай ажиллагаа дээшилнэ
- Цахилгаан эрчим хүчний түгээлт нэмэгдэнэ, зөв зохистой хэрэглээ өсөж, зардал хэмнэнэ.

**Талархал:** Энэхүү өгүүлэлд туршилтын ажлыг гүйцэтгэхэд гүн тусалцаа үзүүлсэн удирдагч багш доктор (Ph.D), дэд профессор Б.Бат-Эрдэнэ багшдаа талархал илэрхийлье.

**VI. АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ**

- [1]. Оюунбилэг Б. “БЗӨБЦТС ТӨХК-д ухаалаг тоолуур нэвтрүүлэх боломжийн судалгаа” ШУТИС ЭХС Магистрын ажил. 2019 он.
- [2]. Лхамсүрэн. А. “Багануур дүүргийн цахилгаан түгээх сүлжээнд ухаалаг тоолуурыг хэрэглэх боломжийн судалгаа” Магистрын ажил 2016 он.
- [3]. <https://www.masm.gov.mn/>
- [4]. <https://economictimes.indiatimes.com/small-biz/productline/power-generation/what-is-net-metering-method-of-billing-and-its-advantages/articleshow/74669293.cms>
- [5]. <https://obtsts.mn/news/118/single/424>
- [6]. С. Эрдэнэтуяа, Ө.Баярмаа, “Цахилгаан хэмжилт”, Улаанбаатар хот, 2014 он
- [7]. <http://www.iek.mn/home.shtml;jsessionid=E7F164A0E5DE4E88129EA42263179394>
- [8]. <https://global.linyang.com/mn/news/development-history-and-working-principle-of-smart-meters/>
- [9]. <https://www.irena.org/publications/2016/Mar/Renewables-Readiness-Assessment-Mongolia>
- [10]. [https://obtsts.mn/news/136/single/61\PRESENTATION TITLE \(abb.com\)](https://obtsts.mn/news/136/single/61\PRESENTATION TITLE (abb.com))

## “ЦДҮС ТӨХК”-Д АШИГЛАГДАЖ БАЙГАА ТООЛУУРЫН СУДАЛГАА, ТҮҮНИЙ ХЭРЭГЛЭЭ

А.Хүдэрчулуун<sup>1</sup>, Ө.Баярмаа<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Монгол улс, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль  
[khvderchuluun8980@gmail.com](mailto:khvderchuluun8980@gmail.com), [ubayarma99@gmail.com](mailto:ubayarma99@gmail.com)

*Хураангуй*–Хэрэглэгчийн зүгээс өөрийн эрчим хүчний хэрэглээнд хяналт тавих хэмнэлттэй хэрэглэх, цахилгаан энергээр хангагч нь зүй бус алдагдалыг тодорхойлох ач холбогдолтой хэмжүүрийн багаж нь тоолуур юм. Манай орны хувьд индукцийн тоолуурыг өргөн хэрэглэж ирсэн бөгөөд сүүлийн жилүүдэд микроэлектроник, микропроцессор дээр үндэслэгдсэн импульсийн тоолуур, тоон тоолууруудыг өргөн ашиглах болсон.

*Түлхүүр үг*–Гурван фазын тоолуурын холболтын схем, гүйдлийн трансформаторын алдаа.

### 1.ОРШИЛ

Тоолуурын систем нь тодорхой төлөвлөлт, зарчимд үндэслэн холбосон хэсэг бүлэг тоолуурын мэдээллийг холбооны ямар нэг систем (шилэн кабель, Local area network (LAN сүлжээ), General Packet Radio Service (GPRS), радио долгион, суурин утасны сүлжээ гэх мэт) ашиглан тухайн тоолуур буюу хэмжих хэрэгслүүдийн (цахилгааны, усны, хийн гэх мэт) төлөв байдал, хэмжсэн буюу тоолж байгаа зүйлийн хэмжээний тухай өгөгдийг тоолуурын системийн мэдээлэл цуглуулан анхан шатны боловсруулалт хийх завсрын төхөөрөмж болох Improvised Explosive Devices modem (IEDm) эсвэл Remote terminal unit (RTU) ашиглан төв серверт цуглуулан урьдчилан боловсруулсан програм хангамжаар тухайн өгөгдлүүдэд шаардлагатай хувиргалт, боловсруулалтыг хийсний дараа шинжилгээ, дүгнэлт хийж эцсийн тайлан гаргах цогц системийг ойлгоно.

*Судалгааны объект:* Цахилгаан дамжуулах үндэсний сүлжээ (ЦДҮС) ТӨХК-ны тоолуурын судалгаа насжилт, хэрэглээний талаар судаллаа.

### II.ТООЛУУР, ГҮЙДЛИЙН ТРАНСФОРМАТОРЫН ТУХАЙ ЕРӨНХИЙ ОЙЛГОЛТ

Тоолуурыг хүчдэлийн түвшингээр нь нэг фазын (220В-ын), гурван фазын (380В-ын), 100В-ын тоолуур гэж ангилдаг.

- Нэг фазын тоолуур нь ихэвчлэн ахуйн хэрэглэгчдэд тавигддаг. /DDSF36A/

- Гурван фазын тоолуур нь ихэвчлэн Аж ахуйн нэгж (ААН), байгууллага, дэд станц, хуваарилах байгууламжуудад тавигддаг. /Евро Альфа/

**Евро Альфа** тоолуур нь автомат удирдлага, удирдлага, цахилгаан тоолуурын систем бие даасан байдлаар хийгдсэн бөгөөд дараахь зорилгоор ашигладаг.

- Олон тарифын горимд идэвхтэй ба реактив энерги, 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.

- 100В-ын тоолуур нь дэд станцын 6, 10, 35 кВ хүчдэлтэй тал дээр тавигддаг. /A1700/

Гурван фазын тоолуур нь дотроо 2 янз байдаг. Үүнд:

- Шууд тоолуур /Гүйдлийн трансформатор хэрэглэхгүйгээр шууд холбоно/

-5амперийн тоолуур /Гүйдлийн трансформаторын хоёрдогч ороомгоор дамжин ирсэн 5А гүйдлээр тэжээгддэг тоолуур/ [1]

### III. ГҮЙДЛИЙН ТРАНСФОРМАТОРЫН ҮНДСЭН ОЙЛГОЛТ

Хэмжүүлийн байгууламжид хэрэглэгдэх гүйдлийн трансформаторын ажиллагааг судлахад гурван төрлийн алдаа тодорхойлох шаардлагатай. Үүнд гүйдлийн алдаа, бүрэн алдаа, өнцгийн алдаа байна.



1-р зураг. Гүйдлийн трансформаторын алдаанууд

- Гүйдлийн алдаа нь [ % ]:

$$f_1 = 100 * \frac{I_2 - I'_1}{I'_1}$$

- Өнцгийн алдаа нь :

$$\delta = \arcsin\left[\left(\frac{I'_{\text{cop}}}{I'_1}\right) * \cos(\alpha + \gamma)\right]$$

- Бүрэн алдаа нь [ % ]:

$$\varepsilon = 100 * \frac{I'_{\text{cop}}}{I'_1}$$

үүнд:  $I'_1$ –нэгдүгээр ороомгоор гүйх хоёрдугаар ороомогт хөрвүүлэгдсэн гүйдэл,  $I_2$ –хоёрдугаар ороомгийн гүйдэл,  $I'_{\text{cop}}$ –хоёрдугаар ороомогт хөрвүүлэгдсэн соронзлолын гүйдэл.

Хүснэгт-1 гүйдлийн трансформаторын алдааны ангиллыг үзүүлэв.

1-Р ХҮСНЭГТ

Нарийвчлал	Зөвшөөргдөх гүйдлийн алдаа [%]	Зөвшөөрөгдөх өнцгийн алдаа [мин]	Хэрэглэх муж
0,2	±0,2	±10	Лабораторийн хэмжүүр
0,5	±0,5	±40	Цахилгаан энергийн тооцоо
1,0	±1,0	±80	Шитны хэмжүүр

Хэмжүүрийн гүйдлийн трансформаторын зүрхэвч өндөр чанарын гангаар хийгддэг боловч богино залгааны ажлын горимд ханалтад ордог. Гүйдлийн трансформаторыг хэрэглэх хязгаарын нөхцөл нь түүний алдааны хязгаарын нөхцөл байдаг [2].

IV. СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН:

Судалгааны хүрээнд ЦДҮС ТӨХК-д хэрэглэгдэж байгаа тоолууруудын насжилт хэрэглээний талаар судаллаа.

Суурилагдсан нийт тоолуурыг

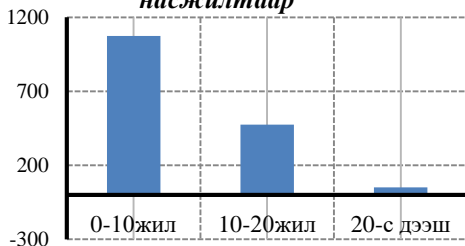


2-р зураг. ЦДҮС ТӨХК-ны тоолуурын судалгаа

Нийт суурилуулсан тоолуурыг бүсээр нь авч үзсэн бөгөөд Улаанбаатар салбарын тоолуур 48%-ыг эзэлж байна.

Нийт суурилуулсан тоолуурыг нэр төрлөөр нь авч үзвэл:

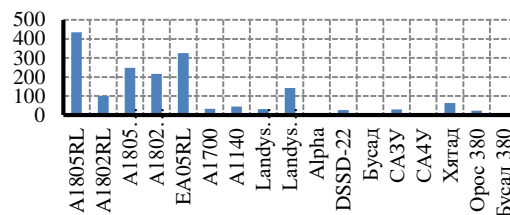
ЦДҮС-ний нийт тоолуур насжилтаар



3-р зураг. Тоолуурын насжилт

Насжилтын хувьд сүүлийн үед суурилуулсан 3 фазын альфа тоолууруудыг ашиглаж байна.

Нийт суурилагдсан тоолуурын судалгаа



4-р зураг. ЦДҮС ТӨХК-ны суурилагдсан тоолуурын судалгаа

Эндээс харахад гурван фазын A1805RL, A1805RAL, A1802RAL, EA05RL тоолууруудыг өргөн ашиглаж байна.

**A1805RL тоолуур**-Үндсэн зорилтын хүрээнд холболтын протоколыг системд дэмжүүлэх, ачааллын график болон тоолуурын заалтыг системд авах програмчлалын ажил дууссан. Цагийн синхрон хийгдэнэ.

*Тайлбар:* Сүүлийн үед шинээр нийлүүлэгдэн ашиглагдаж байгаа тоолуур. Системд бусад параметруудийг авах боломжийн талаар гүйцээгч Сименс компанитай хамтран ажилласаар байна. Энэ нь тоолуурт хийгдсэн тохиргоо, үйлдвэрлэгчийн нэмэлт data table-ээс мөн хамаарах асуудал юм.

**A1700 тоолуур**-Холболтын протоколыг системд дэмжүүлэх, ачааллын график болон тоолуурын заалтыг системд авах програмчлалын ажил дууссан. Цагийн синхрон хийгдэнэ.

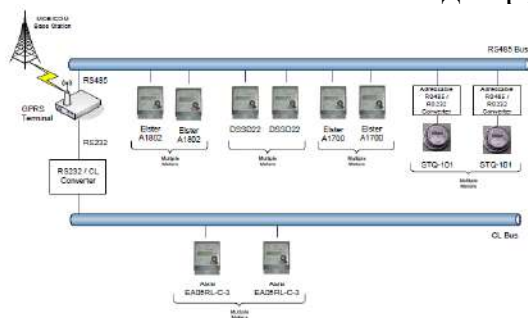
**EA05RAL тоолуур**- Цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээг бүртгэх EBPO-Альфа олон үйлдэлт цахим тоолуур суурилуулахаар тусгасан.

Тоолуур нь олон тарифт эсвэл нэг тарифын горимд хувьсах гүйдлийн хэлхээн дэх идэвхтэй ба реактив энерги, хүчийг тооцоолох, автомат удирдлагын систем ба цахилгаан тоолуурын (ASKUE) нэг хэсэг болгон ашиглах, хэмжих эсвэл тооцоолох параметруудийг удирдлагад шилжүүлэхэд зориулагдсан. цахилгаан эрчим хүчийг хянах, бүртгэх, хуваарилах өрөө.

**A1802RL тоолуур**- Трансформаторын холболтын олон үйлдэлт микропроцессорт суурилсан тоолуур ALFA A1800 нь гурван фазын хувьсах гүйдлийн сүлжээн дэх идэвхтэй ба реактив энерги, хүчийг олон тарифын горимд тооцоолох, хэмжсэн өгөгдлийг санах ойд хадгалах, мөн тоон болон импульсээр дамжуулах зориулалттай.



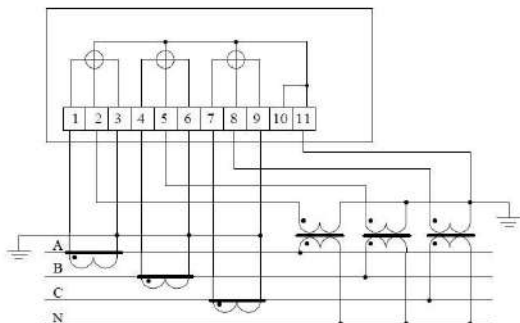
### V. ДЭД СТАНЦ ДЭЭРХ ТООЛУУРУУДЫН ХОЛБОЛТЫН ТЕХНИКИЙН ШИЙДЭЛ [1]



5-р зураг. Дэд станц дээрх тоолууруудын холболтын техникийн шийдэл [1]

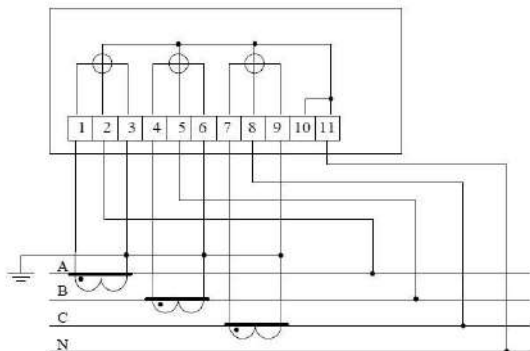
#### Гурван фазын тоолуурын холболтын схемүүд: [4]

1) Гурван фазын тоолуурыг сэлгэн суурьтай дөрвөн утас бүхий сүлжээнд холбох схем:



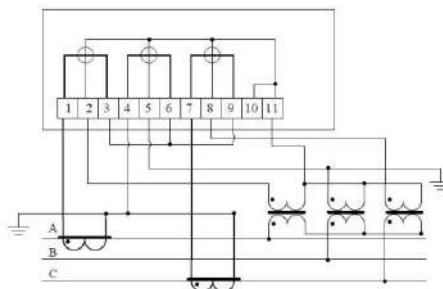
6-р зураг. Сэлгэн суурьтай дөрвөн утас бүхий сүлжээнд холбох схем.

2) Гурван фазын тоолуурыг дөрвөн утастай сүлжээнд холбох схем



7-р зураг. Дөрвөн утас бүхий сүлжээнд холбох схем.

3) Гурван фазын тоолуурыг гурван утастай шугамаар холбох схем - хоёр гүйдлийн трансформатор, гурван хүчдэлийн трансформатор



8-р зураг. Гурван утастай сүлжээнд холбох схем.

### VI. ДҮГНЭЛТ

1. Төвийн эрчим хүчний систем (ТЭХС)-д одоо байгаа тооцооны электрон тоолуурууд болон одоо ашиглалтад байгаа тоолуурын системүүдийн ажиллагааны онцлог, техникийн нөхцөл байдал, насжилтыг судаллаа. Насжилтын хувьд харьцангуй залуу тоолууруудтай байна.

2. Анхдагч хувиргуурууд болон гүйдлийн болон хүчдэлийн трансформаторууд болон нарийвчлэлийг тооцох шаардлагатай. Трансформаторын алдаа тооцоогүйгээс тоолуур буруу заадаг.

3. Тоолуурын системтэй холбоотой тодорхой техникийн стандартын шаардлагууд, холболтын төрөлүүдийг судалсан.

### VII. АШИГЛАСАН НОМ ЗҮЙ

- [1]. Ж.Арслан, М.Наранбат. “ТЭХС-ийн тоолуурын нэгдсэн систем байгуулах асуудал”, “Ирээдүйн хөгжилд эрчим хүч” сэдэвт ШУТИС ЭХИС-ийн магистр, доктор оюутны эрдэм шинэжилгээний бага хурлын эмхэтгэл, 117-123 хуудас.
- [2]. Б.Мандах, Ж.Арслан “Цахилгаан хангамжийн реле хамгаалалт автоматик” ШУТИС ЭХС Улаанбаатар хот. 2015 он.
- [3]. С.Эрдэнэтуяа. Ө.Баярмаа “Цахилгаан хэмжлэгийн техник” ШУТИС ЭХС Улаанбаатар хот. 2014 он.
- [4]. С.Эрдэнэтуяа. Ө.Баярмаа “Цахилгаан хэмжлэгийн техник” хичээлийн лабораторын заавар
- [5]. <https://lemzspb.ru/schetchik-lektoenergii-yevroal-fa-ea05r1>

## ДӨРВӨН ОМНИ ДУГУЙТАЙ РОБОТЫН ЯВАЛТЫГ УДИРДАХ АРГАЧЛАЛ

А. Мөнх-Оргил<sup>1</sup>, Ч. Ангараг<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Монгол Улсын Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургууль, Эрчи Хүчний Сургууль  
amunkhorgil01@gmail.com

*Хураангуй*–Энэхүү ажилаар ABU ROBOCON 2022 тэмцээний R2 роботын явалтанд 3 ширхэг омни дугуй ашиглан хийсэн роботын ажиллагааны зарчим дээрээс үндэслэн 4 омни дугуйт роботын удирдлага, программын алгоритм боловсруулж түүнийгээ амжилттай туршин роботуудын явалтыг удирдлагыг хийж гүйцэтгэв.

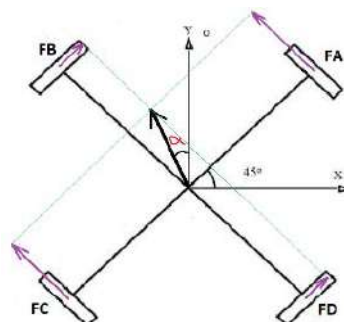
*Түлхүүр үг*–Omni wheel, Arduino uno/nano, Turnigy 9x 9ch transmitter and Receiver, VNH5019a motor shield, IG52GM 03TYPE DC 12V motor.

### I.ОРШИЛ

Хөдөлгөөнт робот нь механик, электроник, компьютер ба мэдээлэл дамжуулах гэх мэт системүүдээс бүрдсэн цогц шийдэл юм. Боловсрол судалгаа үйлдвэрлэлд өргөнөөр хэрэглэж байна. Омни дугуй нь бүх чиглэлд явахад зориулагдсан, эргэлтийн чиглэлд перпендикуляр байрладаг жижиг дугуйнуудтай үүний тусламжтай 360° хөдөлгөөн хийж чаддаг, полимерээр хийгдсэн маш баг бөх хийцтэй юм. Омни дугуйг ихэвчлэн роботод гурав, дөрвөн ширхэгийг ашиглан роботын явалтыг илүү ашигтай байдлаар энгийн дугуйнуудтай харьцуулахад дугуйгаа хөдөлгөлгүй шугаман явалтыг бий болгож илүү үйлдэл хийлгүйгээр удирдаж ашигладаг байна.

### II.РОБОТЫН ЯВАЛТЫН УДИРДЛАГА

Хөдөлгөөнт роботуудын явалтанд хамгийн чухал нь дугуй, дугуйн тоо хэмжээ. Хоёр, гурав, дөрвөн ширхэг дугуй нь өөр өөрийн давуу болон сул талуудтай. Хоёр дугуй хөтлөгч нь маш энгийн удирдлагатай боловч маневрлах чадварыг бууруулдаг. Гурван дугуй хөтлөгч нь энгийн удирдлага, жолоодлоготой боловч зүтгүүрийн хүч нь хязгаарлагдмал. Дөрвөн дугуй хөтлөгч нь илүү төвөгтэй механик, удирдлагатай боловч илүү өндөр зүтгүүртэй байдаг. Омни дугуй нь роботыг өнцөгөөр эргүүлэлгүй шугаман явахад тусладаг. Бид үүнээс дөрвөн дугуйг роботын явалтад ашиглан удирдсан. Омни дугуйтай моторуудаа хооронд нь 90° градусын өнцөгтэйгээр суурилуулсан. Дугуй тус бүрийн үүсгэсэн хурдны векторыг 1 зурагт сумаар дүрсэлсэн бөгөөд Y координаттай (эсвэл роботын урд чиглэлтэй) харьцангуй чиглэл нь тус тус 45°, 135°, 225° ба 315° байна. Векторууд нь эерэг эсвэл сөрөг чиглэлтэй байж болох бөгөөд энэ нь мотор хөдөлж буй чиглэлийг илэрхийлдэг (урагш эсвэл арагш). Роботын урагшлах чиглэлийг Y-ээр илэрхийлэв.



1-р зураг. Роботын дугуйн байрлал ба vector чиглэл

Робот  $\alpha$  өнцгөөр урагшлыг гэрвэл суриараа эргэлгүй моторуудын чиглэл хурдаар урагшлах боломжтой. Энэхүү роботын дөрвөн дугуйг жолоодох чиглэл нь тус тус 45°, 135°, 225° ба 315° градус байгааг харгалзан үзвэл шугаман хурдны хувьд мотор тус бүрийн хурд чиглэлийг дараах томъёогоор олж болно.

$$\begin{aligned} FA &= \text{хурд} \cdot \cos(\ ) 45 - \text{Хүссэн чиглэл} \\ FB &= \text{хурд} \cdot \cos(\ ) 135 - \text{Хүссэн чиглэл} \\ FC &= \text{хурд} \cdot \cos(\ ) 225 - \text{Хүссэн чиглэл} \\ FD &= \text{хурд} \cdot \cos(\ ) 315 - \text{Хүссэн чиглэл} \end{aligned}$$

энд: F - A, B, C, D - моторыг илэрхийлнэ, Хурд - роботын хөдлөх шугаман хурд, Хүссэн чиглэл - хүссэн хөдөлгөөний  $\alpha$  өнцөг. Хүссэн чиглэлийг гарнаас авсан X, Y чиглэлд хөдлөх joystick-ны утгыг доорх байдлаар олно.

$$\theta = \arctan \frac{x}{y} \quad (1)$$

Харин хурдыг пифагорийн теорем ашиглан олсон.

$$a^2 + b^2 = c^2 \quad (2)$$

Удирдлагийн блок нь зэрэгцээ ажиллагаатай 2 Arduino UNO контроллёр, 1 Arduino NANO, 2 ш VNH5019a motor shield-ээс бүрдэх бөгөөд UNO болон NANO контроллёрууд нь хоорондоо цуваагаар(I2C ашиглан) мэдээлэл солилцож хослон ажилладаг. NANO (master) нь гар удирдлагаас (Turnigy 9x 9ch transmitter and Receiver) гарах сигналыг уншиж авж 2 UNO-д цуваагаар удирдлагаас ирсэн сигналыг I2C ашиглан Удирдлагийн блок нь зэрэгцээ ажиллагаатай 2 Arduino UNO контроллёр, 1

Arduino NANO, 2 ш VNH5019a motor shield-ээс бүрдэх бөгөөд UNO болон NANO контроллерууд нь хоорондоо цуваагаар(I2C ашиглан) мэдээлэл солилцож хослон ажилладаг. NANO (master) нь гар удирдлагаас (Turnigy 9х 9ch transmitter and Receiver) гарах сигналийг уншиж авж 2 UNO-д цуваагаар удирдлагаас ирсэн сигналыг I2C ашиглан.

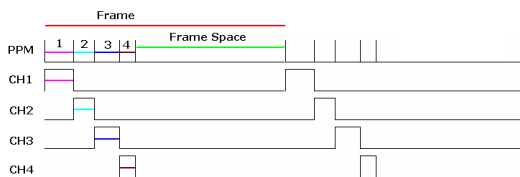
### Ш.РОБОТЫН ГАР УДИРДЛАГА

Бидний ашигласан гар удирдлага нь радио давтамжийн удирдлага бөгөөд 2.408-2.475GHZ давтамжинд ажилладаг.

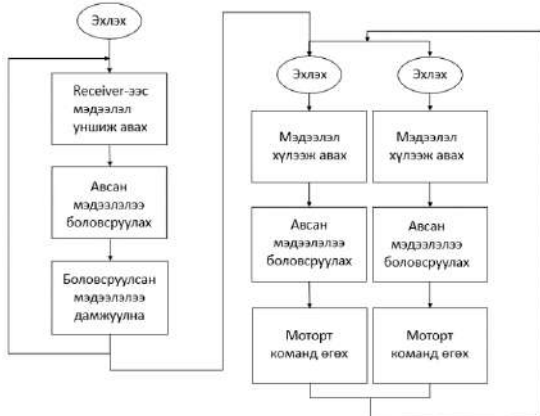


2-р зураг. Гар удирдлага

9 channel тус бүр нь өөрсдийн гэсэн сигналыг хэлээн авагчнаас нь Arduino NANO ийн interrupt дэмждэг хөлөөр interrupt ашиглан уншиж авна. Хүлээж авсан сигналаа byte мэдээлэл болгож Arduino UNO-нууд руугаа цуваагаар дамжуулна. Гаралтын 9 сигналаас зөвхөн 2(AIL/THR STICK) ийг авж Omni-н удирдлагад ашигласан. Receiver-ээс орж ирэх импульсын өргөний өөрчлөлтийг 0-255д хөрвүүлснээр joystick ны хөдөлгөөныг тодорхойлоход хялбар болгосон.



3-р зураг. Гарнаас гарах клок сигнал



4-р зураг. Програмын алгоритм

### 1-Р ХҮСНЭГТ. ГАР УДИРДЛАГА, ХҮЛЭЭН АВАГЧИЙН ҮЗҮҮЛЭЛТҮҮД

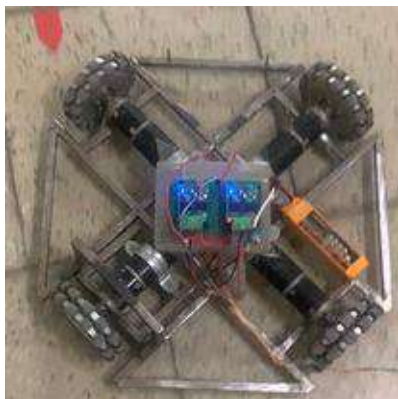
Дамжуулагчийн үзүүлэлтүүд:	
Сувгийн тоо:	9
Загварын төрөл:	Нисдэг тэрэг, тогтмол далавчтай, планер
Давтамжийн хүрээ:	2.408-2.475GHz
Дамжуулагчийн хүч:	20дБм-ээс ихгүй байна
Зурвасын өргөн:	500KHz
2.4GHz протокол:	AFHDS 2A
Кодчилол:	GFSK
Сувгийн нарийвчлал:	4096
Бага хүчдэлийн дохиолол:	9V-ээс доош
Цэнэглэх интерфэйс:	Байхгүй
Антенны урт:	26 мм
Жин:	690 гр
Оролтын хүчдэл:	12V DC, 8 x “AA” (1.5V)
Дэлгэц:	STN хагас нэвчүүлэх эерэг тор VA 73 39мм LCD
Хэмжээ:	190x112x257мм
Онлайн шинэчлэл:	Үгүй

### IV.МОТОР, МОТОРЫН УДИРДАГА

Энд тайлбарласан математик ажиллахын тулд дугуйнууд нь сайн зуурах ёстой бөгөөд энэ нь моторыг маш их хүчээр түлхэнэ. Иймд моторуудыг түүний зарцуулалт, хүч, хурд зэргийг харгалзан маш болгоомжтой сонгох шаардлагатай байсан. Сонгосон мотор нь Planetary Gear DC 12V, 4000rpm, 33.5w чадалтай юм.

### 2-Р ХҮСНЭГТ. МОТОРЫН ҮЗҮҮЛЭЛТ

Нэрлэсэн хурд	3,600	(RPM)
Нэрлэсэн гүйдэл	4,100	(mA)
Ачаалалгүй хурд	4,000	(RPM)
Ачаалалгүй гүйдэл	1,200	(mA)
Нэрлэсэн чадал	33,5	(Ватт)



5-р зураг. Роботын суурын бодит зураг

PID удирдлага нь хамгийн өргөн хэрэглэгддэг удирдлагын төрөл бөгөөд энэ маш энгийн бөгөөд хэрэгжүүлэхэд хялбар байдаг. Бид өөртөө хамгийн тохиромжтой PID алгоритмыг ашигласан. Манай системийн дамжуулах функц тодорхойгүй байсан тул хяналтын хамгийн сайн төрөл, оновчтой параметруудийг тодорхойлох туршилт, алдааны аргыг хэрэгжүүлсэн. Эргэлтийн хөдөлгөөнийг болгохын тулд хэд хэдэн туршилт хийсэн.

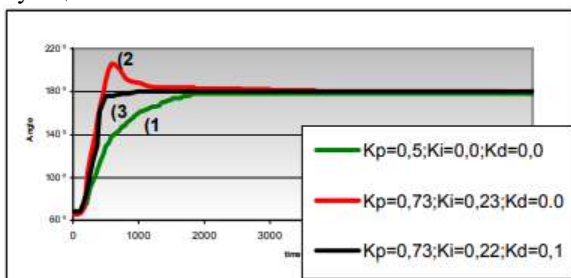
$$y(t) = K \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (3)$$

энд:  $y$  - удирдлагын сигнал,  $y_{sp}$  - даалгаварын утга,  $y$  - гаралтын утга,  $e$  - алдааны сигнал ( $e = y_{sp} - y$ );

Удирдлагын сигнал нь дараах гурван хэлбэрийн нэгдэл бөгөөд: P – алдаан пропорционал хамааралтай, I – алдааны интегралд пропорционал хамааралтай, D – алдааны дифференциалд пропорционал хамааралтай.

Контроллёрын параметерүүд нь:

$K_p$  – пропорционалын коэффициент,  $K_i$  – интегралын хугацаа,  $K_d$  – дифференциал хугацаа.



5-р зураг. Өөр өөр  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ , параметр бүхий эргэлтийн хөдөлгөөн

## V. ДҮГНЭЛТ

ABU ROBOCON роботын тэмцээнүүдэд хамгийн чухал нь алдаагүй цэвэр явалт төгөс гүйцэгэл юм. Алдаа багатай найдвартай ажиллагаа нь ялалтад хүрэх нэгэн том алхам болдог. Энэхүү 3 омни дугуйнаас сэдэвлэн хийсэн 4 омни дугуйт роботын тохируулгын тусламжтай робот аюулгүй найдвартай

ажилна. Удирдлагын програм нь тайлбарласны дагуу энгийн бөгөөд үр дүнтэй байдаг. Чиглэлийг косинус өнцөгийн дагуу 4н утгыг л олно. Хөдөлгүүрийг удирдах PWM сигнал нь Arduino UNO – оор үүсгэдэг мөн хоорондоо 2 утас ашиглан цуваагаар мэдээлэл чөлөөтэй солилцдог. Энд тайлбарласан хөдөлгөөнт роботын платформ нь харьцангуй хурдан ихэнх тохиолдолд хөдөлгүүрүүд дээд утгаараа ажилладаггүй бөгөөд шаардлагатай тохиолдолд л дээд хурдыг өгөн ажилуулж болно (дээд хурд авах нь эвдрэл үүсгэх магадлал өндөр). Роботын удирдлагын хүссэн үр дүнг гарган авж чадсан.

## VI. АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1]. F. Ribeiro, I. Moutinho, P. Silva, C. Fraga, N. Pereira, “THREE OMNI-DIRECTIONAL WHEELS CONTROL ON A MOBILE ROBOT” September 2004.
- [2]. University of Wisconsin-Madison (College of Engineering) “Using Omni Wheels to make Holonomic Drive” June 14 2018.
- [3]. HELDER P. OLIVERA “PRECISE MODELING OF A FOUR WHEELED OMNI-DIRECTIONAL ROBOT” APRIL 2008.

## ДУЛААНЫ ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ АНХДАГЧ ЭХ ҮҮСГҮҮРИЙН ОНОВЧТОЙ СОНГОЛТ ХИЙХ СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮНГЭЭС

Б.Шинэбаяр<sup>1</sup>, Ц.Наранцацрал<sup>1</sup>, Б.Өлзийбадрах<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Дулааны инженерийн салбар  
[Shinebayrshinebayr1@gmail.com](mailto:Shinebayrshinebayr1@gmail.com)

*Хураангуй*–Эрчим хүчний салбар нь улс орны аюулгүй байдал, эдийн засаг, нийгмийн тогтвортой хөгжлийг хангах, түрүүлж хөгжүүлэх шаардлагатай салбар юм. Хөгжүүлэхийн тулд хэрэглэгчийг дулааны эрчим хүчээр хэрхэн найдвартай хангаж ажиллах, эрчим хүчийг хэрхэн хэмнэлттэй хэрэглэх, газрын доорх түлшний нөөцийг арвч байдлаар ашиглах, байгаль орчинд үзүүлэх нөлөөллийг багасгах, цахилгаан болон дулааны эрчим хүчний өөрийн өртгийг хэрхэн багасгаж, алслагдсан сумдыг хэрхэн нэгдсэн дулааны системд холбох зэрэг харилцан уялдаатай цогц асуудлууд руу хандаж эхлээд байна. Тиймээс уг өгүүлэлдээ алслагдсан сумдын дулаан хангамжийн системд ашиглагдах анхдагч эх үүсгүүрийн сонголтыг Луус сумын жишээгээр харуулав.

*Түлхүүр үг–хатуу түлш, нэгдсэн дулааны систем, хорт хийн хаягдал, сумын дулаан хангамж.*

### I. УДИРТГАЛ

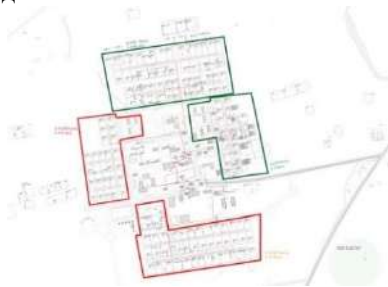
Улс орны тогтвортой хөгжлийн цар хүрээ, ард түмний амьдралын түвшинг тодорхойлох гол хүчин зүйлийн нэг нь эрчим хүчний найдвартай бөгөөд өндөр үр ашиг бүхий дэд бүтэцтэй байх явдал байдаг. Томоохон хотууд болоод аймаг сумдыг нэгдсэн дулааны сүлжээнд холбосноор барилга байгууламж, үйлчилгээний газрыг дулаанаар тасралтгүй найдвартай хангах боломжтой болно. Гэвч одоогийн байдлаар Монгол улсад алслагдсан аймаг, сум орон нутгийн хэрэглэгчдийг дулааны нэгдсэн эрчим хүчээр хангах нь асуудалтай байсаар байна. Орон нутгийн дулаан хангамжийн өнөөгийн нөхцөл байдал:

- Тухайн аймаг сум орон нутагт хэрэгжүүлэх дулаан хангамжийн нэгдсэн бодлого байхгүй.
- Дулаан хангаж мэргэжлийн боловсон хүчин дутмаг.
- Хууль дүрэм зохицуулалт байхгүй.
- Хөдөө орон нутгийн засаг захиргаа, төрийн байгууллагын удирдах албан тушаалтан өөрийн сум орон нутгийн дулаан хангамжийн асуудлаа сайжруулах шинэчлэх, техник технологи нэвтрүүлэх санал санаачилга гаргадаггүй гаргасан хэдий ч түүнийг хийж бүтээх хөрөнгө зардал байхгүй г.м нөхцөл байдалтай байна.

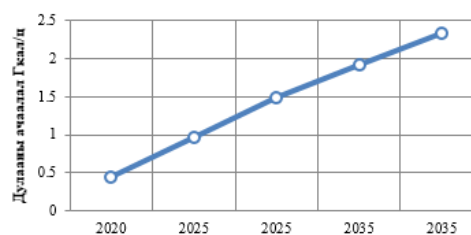
Уг өгүүлэлэр манай орны аймаг сумдын хэрэглэгчдийг дулаан хангамжийн нэгдсэн системд холбох үр ашиг эрчим хүч үйлдвэрлэх явцад ялгарах хорт хийн агууламжийг багасгах судалгааны хэсэг үр дүнгээс танилцуулна. Судалгаандаа Дундговь аймгийн Луус сумын дулаан хангамжийн системийг үндсэн объектоор авч дулаан хангамжийн системд ашиглагдаж болох түлшний оновчтой сонголтыг хийсэн болно.

### II. ЛУУС СУМЫН ТУХАЙ

Дундговь аймгийн Луус сум зөвхөн халаалтын зуухаар тодорхой хэмжээний барилга байгууламжийг халаадаг хэрэгцээний халуун ус, цэвэр, бохирын нэгдсэн сүлжээгүй асуудлуудтай. Сумын одоогийн дулааны ачаалал нь 0.44 Гкал/ц бөгөөд дахин төлөвлөлт хийх барилга байгууламж зураг 1 болон 2035 он хүртлэх дулааны ачааллын өсөлтийн үзүүлэлтийг 2-р зураг дээр харуулав. Уг суманд дахин төлөвлөлт хийж, хэрэглэгчдийг дулааны нэгдсэн системд холбож, дулаан хангамжийн системийн үндсэн тоноглолуудын хүчин чадлыг нэмэгдүүлэн өргөтгөл хийх хэрэгцээтэй байна. Ингэснээр айл өрхийн зохисгүй түлш шатаалтыг зогсоож хүлэмжийн хийн ялгарлыг бууруулах ач холбогдолтой юм.



1-р зураг. Луус сумын дулааны хэрэглэгчид (2035 он хүртэл дахин төлөвлөлт хийх барилга байгууламжыг өнгөөр дүрслэв.)



2-р зураг 2025-2035 он хүртэл нэмэгдэх дулааны ачаалал

Дундговь аймаг нь байгалийн эрдэс түүхий эдийн ихээхэн нөөцтэй. Нийт ашигт малтмалын 58 хувийг чулуун болон хүрэн нүүрс эзэлдэг. Нөөц нь судлагдсан Сайнцагаан сумын Тэвшийн говь, Баянжаргал сумын Өвдөг худаг, Эрдэнэдалай сумын Цагаан-Овоо газруудад чулуун болон хүрэн нүүрс байгааг тогтоосон.



3-р зураг. Луус сумаас нүүрсний уурхайнууд хүртэлх зай

Луус сумтай хамгийн ойрын нүүрсний олборлолт газар нь 50-180 км зайтай. Үүнд: Сайнцагаан сумын Тэвшийн говь, Эрдэнэдалай сумын Цагаан-Овоо, Баянжаргал сумын Өвдөгхудаг зэрэг уурхайнууд байна. 3-р зураг дээр Луус сумаас нүүрсний уурхайнууд хүртэлх зайг харж болно. Газарзүйн байршлын хувьд Луус сумтай хамгийн ойр гурван нүүрсний уурхайн нүүрсний агууламжыг 1-р хүснэгт дээр харьцуулан харуулав.

1-р ХҮСНЭГТ. НҮҮРСНИЙ ТОДОРХОЙЛОМЖ

Нэр	W <sup>a</sup> , %	A <sup>a</sup> , %	S <sup>a</sup> , %	C <sup>a</sup> , %	H <sup>a</sup> , %	O <sup>a</sup> , %	N <sup>a</sup> , %	Q, ккал/кг
Цагаан-Овоо	6.5	16.9	1.2	53.4	3.4	18	0.6	4676.3
Тэвшийн говь	15	25	0.4	42.4	2.3	14.2	0.7	3555.8
Өвдөг худаг	15	15	2	32.5	2.1	32.3	1.1	2266

### III. ТООЦООНЫ ҮР ДҮН

Дараах тооцооны аргачлалаар атмосферт хаягдах нүүртөрөгчийн исэлийг тодорхойлов. Тооцооны үр дүнг зураг 4-т дүрслэн үзүүлээ.

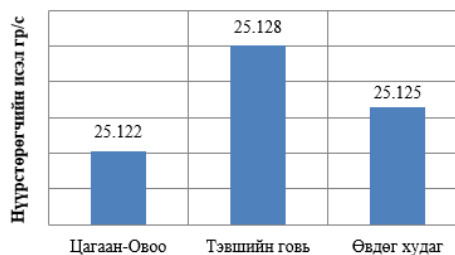
$$M_{CO} = q_3 \cdot R \cdot Q_H^P \cdot B \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \cdot K_n \quad (1)$$

энд:  $q_3$  – химийн дутуу шаталтын алдагдлын коэффициент, 0.2%;  $q_4$  – механик дутуу шаталтын алдагдлын коэффициент, 0 %;  $R$  – шаталтаар үүссэн хийнд СО байснаар химийн дутуу шаталтат үүсгэх харьцааг тооцсон коэффициент, (хатуу түлшинд=0.5);  $Q_H^P$  – түлшний илчлэг, МДж/м<sup>3</sup>;  $K_n$  – нэгжийн шилжүүлгийн коэффициент, 0.001.

$$\Delta B = \frac{Q \cdot 10^3}{Q_H^P} \cdot \left(\frac{1}{n_{\text{хууч}}} - \frac{1}{n_{\text{шинэ}}}\right) \quad (2)$$

Агаарын бохирдол түлшнээс хэрхэн хамаарах хамаарлын судалгаанд, жишээ болгон Луус сумын газарзүйн байршлын хувьд ашиглаж болох гурван нүүрсний агууламжаар тооцоог

гүйцэтгэж үр дүнг харьцуулан 2-р хүснэгт дээр үзүүлэв.



4-р зураг. Түлшнээс хамаарсан СО ялгарлын харьцуулалт

2-Р ХҮСНЭГТ. УТААНЫ ХИЙН ЭЗЭЛХҮҮН

№	Нэр	Тэвшийн говь	Цагаан-Овоо	Өвдөг худаг
1	Шатаахад шаардагдах онолын агаарын хэмжээ, нм <sup>3</sup> /кг	6.54	6.63	3.47
2	3 атомт хийн онолын хэмжээ, нм <sup>3</sup> /кг	1.32	1.31	0.88
3	Азотын онолын хэмжээ	5.25	5.24	4.02
4	Усны уурын онолын эзэлхүүн, нм <sup>3</sup> /кг	0.72	0.67	0.57
5	Утааны хийн дэх усны уурын бодит эзэлхүүн, нм <sup>3</sup> /кг	0.75	0.7	0.59
6	Утааны хийн дэх азотын бодит эзэлхүүн, нм <sup>3</sup> /кг	6.8	6.82	4.84
7	Шаталтын бүтээгдэхүүний бодит эзэлхүүн, нм <sup>3</sup> /кг	8.88	8.83	6.32
8	Шаталтын бүтээгдэхүүн дэх үнсний агууламж	0.03	0.01	0.02

### IV. ДҮГНЭЛТ

Аймаг сумдын дулааны хэрэглэгч бүрийг дулаан хангамжийн нэгдсэн системд холбох нь шинээр орон сууц баригдах болоод үйлчилгээ, үйлдвэрлэл хурдацтайгаар өргөжих, түлш-эрчим хүчний эх үүсвэрийг хамгийн үр дүнтэй ашиглах арга юм. 3-р зургаас харахад газарзүйн байршлын хувьд Луус сумтай хамгийн ойр, сумын дулаан хангамжид ашиглавал зохистой Цагаан-Овоо, Тэвшийн говь уурхайн нүүрснүүд байна. Түлшний шаталтаас үүсэх утааны хийн ялгарал, нүүртөрөгчийн исэл, азотын хэмжээ, үнсний агууламжийн тооцооны үр дүнгээс дүгнэхэд Цагаан-Овоо нүүрсний байгаль орчин бохирдуулах үзүүлэлт бусад хоёр нүүрснээсээ 1-ээс 2 дахин бага байна. Улмаар Дундговь аймгийн Луус сумын дулаан хангамжийн нэгдсэн системд дулааны эх үүсгүүрийн үндсэн түлшээр одоогоор Цагаан-Овоо уурхайн түлшийг сонгож болохоор байна.

### V. НОМ ЗҮЙ

- [1] Н.Оюунцэцэг, Ж.Цэен-Ойдов “Дулааны станцын диплом, курсын төслийн гарын авлага” 8 2021
- [2] Д.Машбат, Ч.Улам-Оргил “Эрчим хүч & Engineering”, 2021-4(206) №4. Хуудас 40-41
- [3] Б.Намхайням “Дулаан хангамжийн систем” 2019

## ДОРНОГОВЬ АЙМГИЙН НЕФТЬ ОЛБОРЛОХ ҮЙЛДВЭРИЙН ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ ХЭМЖИЛТИЙН СУДАЛГАА

О.Ариунцэцэг<sup>1</sup>, Ц.Эрдэнэтуяа<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Цахилгааны инженерийн салбар  
[arimun917@gmail.com](mailto:arimun917@gmail.com)

*Хураангуй*–Дорноговь аймгийн нефть олборлох үйлдэр нь Сайншанд аймгийн төвөөс 35кВ-ийн шугамаар тэжээгддэг бөгөөд үйл ажиллагаа явуулснаас хойш алдагдал ихтэй ажилласан тул энэ нь ганц тухайн үйлдвэрт бус Монгол улсын эрчим хүчний системд нөлөөлж байгаа тул тухайн үйлдвэрийн эрчим хүчний алдагдлыг тооцож, бууруулах арга хэмжээ авч мөн эдийн засгийн тооцоог хийсэн болно.

*Түлхүүр үг*–*Ашигт үйлийн коэффициент, реактив чадал, компенсацлах төхөөрөмж.*

### I. ОРШИЛ

Монгол улсын нийт эрчим хүчний алдагдалууд нь монгол хэлэнд хуурмаг чадал буюу олон улсын хэллэгээр реактив чадлаас ихээхэн хамаарч байдаг. Үүнээс шалтгаалан реактив чадлыг багасгах нь эрчим хүчинд төлж байгаа бидний төлбөр, импортын эрчим хүчийг бууруулах, мөн эрчим хүч үйлдвэрлэхтэй холбоотой хүлэмжийн хийн бууралт, байгалийн хязгаарлагдмал нөөцийг хэмнэх боломжтой. Үүний хүрээнд Сайншанд аймгийн төвөөс 35кВ-ийн шугамаар тэжээдэг газрын тос олборлох нэг ба хоёр дугаар үйлдвэрийн ашигт үйлийн коэффициент доогуур байгаа тул түүнийг дээшлүүлэн шаардагдах компенсацлах төхөөрөмжүүдийг байршуулж үр ашигтай ажиллах шаардлагатай байна.

### II. СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН ОБЪЕКТЫН ТУХАЙ

#### A. Хуурмаг чадлын урсгал ба компенсацлах төхөөрөмж

Үйлдвэр, хот, ХАА-ын цахилгаан хэрэглэгчид нь цахилгаан эрчим хүчийг дулааны энергид хувиргах, мөн механик энергид хувиргах гэсэн үндсэн хоёр чиглэлээр энергийн хувиргалтыг явуулдаг. Цахилгаан зуух, халаагууруудын хувьд Джоуль Ленцийн хуулийг ашиглан эрчим хүчийг дулааны эрчим хүчид хувирган ашигладаг бол төрөл бүрийн цахилгаан хөдөлгүүрүүд нь цахилгаан эрчим хүчийг эргэлдэх хөдөлгөөний механик эрчим хүч болгон хувиргана.

Цахилгаан хөдөлгүүрүүдэд Р(кВт) гэсэн идэвхитэй чадал үүсэхийн зэрэгцээ, Q(кВАр) гэсэн хуурмаг (реактив) чадал заавал үүснэ. Идэвхитэй чадал нь шууд механик энергид хувирч, ажил үйлчилгээ гүйцэтгэж байгаа бодит чадал бол хуурмаг Q чадал хөдөлгүүрт соронзон орны энерги болон хадгалагдсан өвөрмөц чадал юм. Цахилгаан хөдөлгүүрүүд нь хуурмаг чадлын хэрэглэгчид гэж тооцогддог бол цахилгаан станцын генераторууд, мөн цахилгаан дамжуулах шугам кабелиуд нь хуурмаг чадлын үүсгүүр болж, хөдөлгүүрийн хэрэглэх хуурмаг

чадлын хэрэгцээг нөхөж өгнө. Үйлдвэрийн газрын цахилгаан хэрэглэгчдийн 70-80 % нь цахилгаан хөдөлгүүр байх тул үйлдвэрийн газрууд ихээхэн хэмжээний хуурмаг чадлыг сулжээнээс авч хэрэглэх ба энэ чадал нь цахилгаан станцуудад голчлон үйлдвэрлэгдэж улмаар бүх шугам сулжээгээр дамжин хэрэглэгчдэд хүрж байдаг. Цахилгаан хөдөлгүүрүүдийн хэрэглэж байгаа хуурмаг чадлын гүйдэл нь хүчдэлээсээ вектор хэмжигдэхүүний хувьд 90°-аар хоцорч индукцийн хуурмаг чадлыг үүсгэдэг бол хуурмаг чадлын бүх төрлийн үүсгүүрүүдээр гуйх гүйдэл нь хүчдэлээсээ 90°-аар түрүүлж, багтаамжийн нөлөөмжтэй хуурмаг чадлыг бий болгодог онцлог ялгаатай.

Энэ үзэгдлийг энерги устгаж ор алга болдоггүй, зөвхөн нэг хэлбэрээс нөгөө хэлбэрт шилждэг хуулиар хялбарчлан тайлбарлавал:

Хэрэглэгчид (L) ба генератор (C) хоёр нь хоорондоо шугам сулжээгээр холбогдсон LC бүхий хэлбэлзлэлийн хүрээг үүсгэж байгаа бөгөөд эхний хагас үед генератороос илгээсэн цахилгаан орны энерги нь хөдөлгүүрийн ороомогт соронзон орны энерги болон хувирч, дараачийн хагас үед хөдөлгүүрүүдэд хуримтлагдсан соронзон орны энерги нь шугам сулжээгээр буцаж дамжин генераторт очиж, цахилгаан орны энергид шилжинэ. Мөн дараачийн хагас үед энэ энерги нь хөдөлгүүрүүд рүү дамжих байдлаар процесс давтагдаж, цахилгаан ба соронзон орны энергийн шилжилтүүд ээлжлэн явагддаг процесс юм.

Цахилгаан хэрэглэгчдийн хуурмаг чадлын хэрэглээг тодорхойлох гол үзүүлэлт нь чадлын коэффициент  $\cos \varphi$ -ийн утга юм.

$\cos \varphi$ -ийн утгуудыг эгшин зуурын утга, хэмжилтийн дундаж утга, жигнэсэн дундаж утга гэж ангилна.  $\cos \varphi$ -ийн утгыг (1) ба (2)-р тэгшитгэлээр бодно.

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3 \cdot u \cdot i}} \quad (1)$$

$$q = p \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (2)$$

Их хэмжээний индукцийн хуурмаг чадал, үүсгэгчээс үйлдвэрийн газруудын хэрэглэгч рүү байнга дамжих нь дараах хор хохирлыг үзүүлнэ.

- Утас, кабель, трансформаторуудыг халааж нэмэлт чадлыг үүсгэнэ. (3)-р тэгшитгэлээр үзүүлэв.

$$\Delta P = 3 \cdot I^2 \cdot R = \frac{P^2 \cdot R + Q \cdot R}{U^2} = \Delta P_a + \Delta P_p = \frac{P^2 \cdot R}{U^2 \cdot \cos^2 \varphi} \quad (3)$$

- Утас, кабелийн хөндлөн огтлол болон трансформаторын хүчин чадлыг нэмэгдүүлж, хөрөнгө оруулалтын зардлыг ихэсгэнэ. Тухайлбал үйлдвэрийн хэрэглэгчийн  $\cos \varphi = 1$  ( $Q=0$ ) байснаас  $\cos \varphi = 0.8$  болж буурахад чадлын алдагдал  $1/0.8^2 = 1.56$  дахин ихэсч, гүйдэл дамжуулах хэсгийн жин 25 % нэмэгдэх жишээтэй

- $\cos \varphi < 1$  болоход шугам сүлжээгээр дамжих идэвхитэй чадлын зарим хэсгийн оронд хуурмаг чадал дамжиж, шугам кабелийн дамжуулах  $P$  чадлын хэмжээ буурна.

- Цахилгаан станцийн генераторуудын гаргаж байгаа багтаамжийн нөлөөмжтэй хуурмаг чадал дамжиж, шугам кабелийн дамжуулах  $P$  чадлын хэмжээ буурна.

- Цахилгаан станцийн генераторуудын гаргаж байгаа багтаамжийн нөлөөмжтэй хуурмаг чадал хэт ихэссэний улмаас генераторуудын ашигт үйлийн коэффициент багасан, гаргах идэвхитэй чадал нь бас буурна.

- Шугам сүлжээний элементүүдэд хүчдлийн нэмэлт уналт бий болно. (4)-р тэгшитгэлээр үзүүлэв.

$$\Delta U = \frac{P \cdot R}{U} + \frac{Q \cdot X}{U} = \Delta U_a + \Delta U_p \quad (4)$$

(4)-р тэгшитгэлд үүссэн сүүлийн  $\Delta U_p$  гэсэн байгуулагч нь шугам сүлжээгээр дамжиж байгаа  $Q$  гэсэн хуурмаг чадалтай шууд хамааралтай юм.

- Хоногийн туршид хэрэглэх хуурмаг чадлын түвшин хэлбэлзэхэд үүнийг дагаж хүчдлийн хэлбэлзэл үүсч, цахилгаан эрчим хүчний чадлын үзүүлэлтийг бас бууруулна.

Томоохон хэрэглэгчдийн хувьд мөрдөгдөж байгаа актив ба реактив чадлын тоолуурын заалтаар нь сарын дундаж чадлын коэффициент  $\cos \varphi$ -г тооцоолж төлбөр тарифийг гаргадаг. Сарын дундаж  $\cos \varphi = 0.86$ -аас өндөр утгатай байвал реактив энергийн нэмэлт төлбөрийг тооцохгүй ба харин  $\cos \varphi = 0.8 - 0.85$  байвал +5 %,  $\cos \varphi = 0.71 - 0.79$  байвал +10 %, харин  $\cos \varphi$ -ийн утга бүр бага  $\cos \varphi < 0.5$  байвал +20 %-ийн нэмэлт төлбөрийг авдаг.

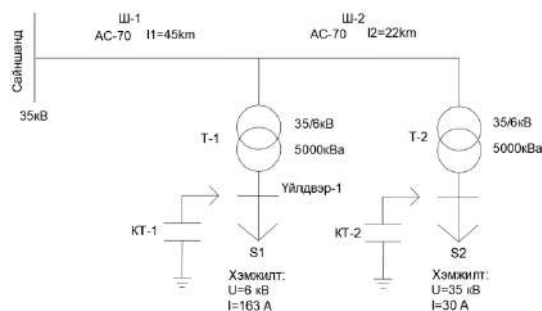
**В. Цахилгаан хэрэглэгчийн чадлын коэффициентийг дээшлүүлэх арга замууд**

Чадлын коэффициент  $\cos \varphi$ -ийн утгыг утгыг дээшлүүлэх аргуудад:

- Хэрэглэгчийн техникийн ашиглалтын сайжруулах замаар  $\cos \varphi$ -г ихэсгэх аргууд
- Зориудын компенсацлах төхөөрөмж (КТ)-ийг ашиглаж  $\cos \varphi$ -г дээшлүүлэх гэсэн ерөнхий аргуудад хуваагддаг.

### Ш.СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН АРГА ЗҮЙ

Сайншанд төвөөс 35кВ-ийн шугамаар тэжээдэг газрын тос олборлох нэг ба хоёр дугаар үйлдвэрийн  $\cos \varphi = 0.61$  байгааг дээшлүүлж,  $\cos \varphi = 0.93$  болгоход шаардагдах компенсацлах төхөөрөмжүүдийн чадлыг тооцоолов. 1-р зурагт Сайншанд нефть олборлох үйлдвэрийг схем зургийг үзүүлэв.



1-р зураг. Сайншанд 35кВ-ийн шугамаар тэжээдэг газрын тос олборлох нэг ба хоёр дугаар үйлдвэрийн схем

Гарах эдийн засгийн үр өгөөж, компенсацлах төхөөрөмжүүдийн өртгөө төлөх хугацааг тодорхойлж 1-р хүснэгтэд үзүүлэв.

1-р ХҮСНЭГТ. ҮЙЛДВЭРҮҮДЭЭС АВСАН ХЭМЖИЛТИЙН УТГА

Үйлдвэр-1 хэмжилтийн хувьд	Үйлдвэр-2 хэмжилтийн хувьд
U=6кВ	U=35кВ
I= 163А	I= 30А
S <sub>1</sub> = 1692кВА	S <sub>2</sub> = 1816кВА
P <sub>1</sub> = 1032кВт	P <sub>2</sub> = 1107кВт
cos φ = 0.61	cos φ = 0.61

Үйлдвэрүүд дээр хийсэн хэмжилтийн дагуу (5)-аас (10)-р тэгшитгэлийн дагуу тооцоололыг хийж гүйцэтгэв.

**А. Компенсацлах төхөөрөмжийн тооцоо, сонголт.**

Компенсацлах төхөөрөмжийн тооцоог 2-р хүснэгтэд үзүүлэв.

2-р хүснэгт. КОМПЕНСАЦЛАХ ТӨХӨӨРӨМЖИЙГ СОНГОХ ТООЦОО

	Тооцоолол			
	Үйлдвэр-1 cos φ	Үйлдвэр-2 cos φ	Үйлдвэр-1 cos φ	Үйлдвэр-2 cos φ
S <sub>1</sub> ; кВА	1692	1816	1121.8	1107
I <sub>1</sub> ; А	26.9	30	18.5	18.2
Q <sub>1</sub> ;кВАр	1340.5	1437.9	440.5	537.9



Компенсацион төхөөрөмжийн шаардагдах чадлыг олбол:

$$Q_{KT1} = P_1 \cdot (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_{\text{норм}}) = 1032(1.299 - 0.395) = 932.9 \text{кВАр} \quad (5)$$

T-1 трансформаторын 6кВ талд ОХУ-ын УКРМ 6.3-900-150 маркийн  $Q_{KT1} = 900$ кВАр-ийн чадалтай төхөөрөмж сонгож авъя.

Үйлдвэр-2 (Т-2-ийн 6кВ талд  $KT_2$  тавина)

Компенсацион төхөөрөмжийн шаардагдах чадлыг олбол:

$$Q = P_2 \cdot (\operatorname{tg} \varphi_2 - \operatorname{tg} \varphi_{\text{норм}}) = 1107(1.299 - 0.395) = 1000.7 \text{кВАр} \quad (6)$$

T-2 трансформаторын 6кВ талд ОХУ-ын УКРМ 6.3-900-150 маркийн  $Q_{KT2} = 900$ кВАр-ийн чадалтай төхөөрөмж сонгож авъя.

*В. Т-1 ба Т-2 трансформаторуудаар дамжих цахилгаан эрчим хүчний төлбөр тооцоо.*

T-1 ба Т-2 трансформаторуудаар дамжих цахилгаан эрчим хүчний төлбөр тооцоог 3-р хүснэгтэд үзүүлэв.

**3-Р ХҮСНЭГТ. ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ ТООЦОО**

	Тооцоолол	
	Үйлдвэр 1 $\cos \varphi$	Үйлдвэр 2 $\cos \varphi$
$\Delta_{\text{тр.нийт}}; \frac{\text{кВт.ц}}{\text{жил}}$	7244000	7749000
$\Delta_{\text{тр.нийт}}; \frac{\text{кВт.ц}}{\text{жил}}$	14993300	
$S_{\text{тал}}; \text{сая, төгрөг}$	2337.4	
	194.7 сар	
$\Delta C_{+16\%}^{\text{торг}}; \frac{\text{сая.төг}}{\text{сар}}$	31.1	

Шугам трансформаторуудад алдагдах чадал, энергийн хэмжээ, тэдгээрийн КТ-гүй болон КТ-тэй үеийн зөрүү тооцоо.

Шугамууд дээрхи чадал, энергийн алдагдалын тооцоо ( $\tau_{\text{алд}} = 5947$ цаг)

Шугамын АС-70 утасны үзүүлэлтүүдийг лавлахаас авбал

$$r_0 = 0.42 \frac{\text{ОМ}}{\text{км}}, x_0 = 0.4 \frac{\text{ОМ}}{\text{км}}, R_{\text{ш-1}} = r_0 \cdot l_{\text{ш1}} = 0.42 \cdot 45 = 18.9 \text{ом} \quad (7)$$

$$R_{\text{ш-2}} = r_0 \cdot l_{\text{ш2}} = 0.42 \cdot 22 = 9.24 \text{ом} \quad (8)$$

T-1 ба Т-2 трансформаторуудаар дамжих цахилгаан эрчим хүчний төлбөр тооцооны зөрүү тооцоог 4-р хүснэгтэд үзүүлэв.

**4-Р ХҮСНЭГТ. ЦАХИЛГААН ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ ТӨЛБӨР ТООЦОО, ТҮҮНИЙ ЗӨРҮҮ АШГИЙН ТООЦОО**

	Тооцоолол				Зөрүү
	Үйлдвэр 1 $\cos \varphi$	Үйлдвэр 2 $\cos \varphi$	Үйлдвэр 1 $\cos \varphi$	Үйлдвэр 2 $\cos \varphi$	
$\Delta P_{\text{ш}}; \text{кВт}$	183.5	24.9	76.3	9.18	
$\Delta P_{\text{ш.нийт}}; \text{кВтц}$	208.4		85.48		
$\Delta E_{\text{ш.нийт}}; \text{кВтц}$	1239354		508349.5		731005.3
$\Delta C_{\text{зөр}}^{\text{ш.жил}};$					113.9
					9.5 сар
$\Delta P; \text{кВ.ц}$	3.82	4.75	1.8	1.7	
$\Delta P_{\text{т.нийт}}^{\text{зэс}}; \text{кВ.ц}$	8.75		3.5		

$\Delta E_{\text{т.нийт}}; \text{кВ.ц}$	152581.7	122430.5	30151.2
$\Delta C_{\text{аш}}^{\text{тр.жил}}; \frac{\text{сая.төг}}{\text{жил}}$	23.8	19.0	4.7
	1.98 сар	1.58 сар	0.391 сар
$\Delta C_{\text{аш}}^{\text{тр.жил}}; \frac{\text{сая.төг}}{\text{жил}}$			118.6
			9.88 сар

Компенсацион төхөөрөмж тавьж,  $\cos \varphi = 0.93$  болтол дээшлүүлэн, шугам, трансформатор дээрхи алдагдлыг бууруулснаас жилд гарах нийт ашгийг тооцвол:

$$\Delta C_{\text{аш}}^{\text{жил}} = \Delta C_{\text{зөр}}^{\text{ш.жил}} + \Delta C_{\text{зөр}}^{\text{тр.жил}} = 133.9 + 4.7 = 118.6 \frac{\text{сая.төг}}{\text{жил}} \quad (9)$$

Сард шилжүүлбэл:

$$\Delta C_{\text{аш}}^{\text{сар}} = \frac{118.6}{12} = 9.88 \frac{\text{сая.төг}}{\text{сар}} \quad (10)$$

**IV. СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН**

Нефть олборлох үйлдвэрийн  $\cos \varphi = 0.61$  байсныг дээшлүүлж,  $\cos \varphi = 0.93$  болгоход үйлдвэрт жилд нийт ашиг  $\cos \varphi$  доогуур байсны торгууль төлбөр сар бүр  $\Delta C_{+16\%}^{\text{торг}} = 31.1$  сая төгрөгөөс бүрэн чөлөөлөгдөхөөс гадна шугам, трансформатор дээрхи эрчим хүчний алдагдлыг бууруулснаар сард 9.88 сая төгрөгийн хэмнэлт гарч, сарын нийт ашиг нь  $A_{\text{сар}} = 31.1 + 9.88 = 40.98$  сая төгрөг буюу жилд шилжүүлбэл:

$A_{\text{жил}} = 40.98 \cdot 12 = 491.76$  сая төгрөгийн хэмнэлт гарч байна. ОХУ-ын УКРМ 6.3-900 маркийн компенсацион төхөөрөмж нэг бүрийг худалдаж авах, тээвэрлэх, суурилуулах зардлыг 38 сая төгрөг, нийт зардлыг  $K=2 \cdot 38=76$  сая төгрөг гэвэл өртгөө төлөх хугацаа нь:

$$T_{\text{эт}} = \frac{K}{A_{\text{сар}}} = \frac{76}{40.98} = 1.8 \text{сар} \text{ болж нэн ашигтай төсөл болох нь харагдаж байна.}$$

**V. ДҮГНЭЛТ**

Дорноговь аймгийн нефть олборлох үйлдвэрийн чадлын коэффициент доогуур байгаа тул түүнийг дээшлүүлэх арга хэмжээ авах шаардлагатай байна. Тухайн үйлдвэрүүдэд компенсацион төхөөрөмжүүдийг сонгож тооцоог гүйцэтгэсэн. Мөн үйлдвэрт ямар ашигтайг тооцсон бөгөөд тооцооны үр дүнг ашиглан авч хэрэгжүүлбэл зохино.

**VI. НОМ ЗҮЙ**

- [1] З.Цэрэндорж ба Ц.Эрдэнэтуяа, “Цахилгаан хангамж түгээлтийн үндэс-1”, Монгол улсын Шинжлэх ухаан техникийн их сургууль, Эрчим хүчний сургууль, Улаанбаатар хот, 2017 он, 247-256 хуу.
- [2] З.Цэрэндорж ба Ц.Эрдэнэтуяа, “Цахилгаан хангамж түгээлтийн үндэс-2”, Монгол улсын Шинжлэх ухаан техникийн их сургууль, Эрчим хүчний сургууль, Улаанбаатар хот, 2018 он, 252-255 хуу.
- [3] “Эрдэм шинжилгээний бүтээлийн эмхэтгэл /цахилгааны салбар/”, №18/182 Монгол Улсын Шинжлэх ухаан технологийн их сургууль, Эрчим хүчний салбар, Улаанбаатар хот, 2015 он.

## ӨНДӨР ХҮЧДЛИЙН ДҮҮЖИНТ ТУСГААРЛАГЧ ДЭЭРХ ПОТЕНЦИАЛЫН ТАРХАЛТЫН ХЭМЖИЛТ БА ТООЦООЛОЛ

Э.Хатанбат<sup>1</sup>, Б.Билгүүнбат<sup>1</sup>, Б.Золжаргал<sup>1</sup>, Ц.Чингэс<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Цахилгааны инженерийн салбар  
[Bilguunbatbebi3@gmail.com](mailto:Bilguunbatbebi3@gmail.com) , [chingee@must.edu.mn](mailto:chingee@must.edu.mn)

*Хураангуй*–Энэхүү өгүүлэлд 110 кВ-ийн хүчдлийн өндөр хүчдлийн цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын тусгаарлагчууд дээрх хүчдлийн тархалтыг лабораторын нөхцөлд хэмжиж, цахилгаан хэлхээний онолын аргаар тооцоолж үзэв. Ингэхдээ бохирдлоггүй цэвэр гадаргуутай тусгаарлагч таван элемент дээр 30 кВ хүчдлийн үүсгүүр холбож туршив. Хэмжилтийн үр дүн онолын тооцооны үр дүнтэй сайн тохиров. Мөн бусад судлаачдын үр дүнтэй харьцуулж үзэхэд ойролцоо үр дүн үзүүлэв. Хэмжилтийн үр дүнд хамгаалах цагираг хийсний дараа потенциалын тархалт ойролцоогоор гучин хувь буурч чадсан.

*Түлхүүр үг*–ЦДАШ, өндөр хүчдлийн тусгаарлагч тавган элемент, лабораторын загвар дээрх хэмжилт, цахилгаан хэлхээний онолын тооцоо, хамгаалах цагираган арматур.

### I. УДИРТГАЛ

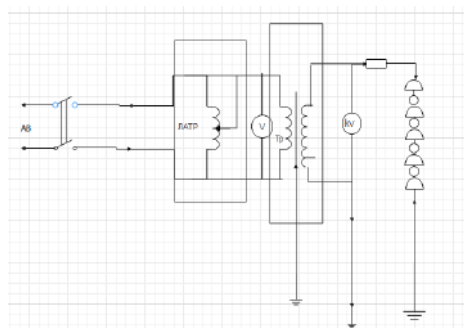
Цахилгаан эрчим хүчний системийн хэвийн, найдвартай үйл ажиллагаанд гадаад тусгаарлагч нь чухал үүрэг гүйцэтгэдэг. Цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын багцын тусгаарлагч элементүүд дээрх хүчдлийн тархалт нь агаарын шугамын тусгаарлах материалын хэлбэр, хийц, материал, тулгуурын хэлбэр дүрсээс хамаарч янз бүр байх боломжтой [1-2]. Потенциалын тархалтыг цахилгаан соронзонгийн загвар буюу хязгаарын элементийн аргаар өндөр нарийвчлалтайгаар тооцоолж, үр дүнгээс нь дурын хүчдлийн түвшинд харгалзах элементийн хэлбэр, хийц, цагираган арматурын дизайныг практикт тохируулан өөрчилж сонгох боломжтой [3-4].

Тулгууртай болон үүсч байгаа (паразит) багтаамж ,шугамын угастай үүсэх багтаамжуудаас болж потенциалын тархалт жигд бус болдог.

Энэхүү өгүүлэлд таван ширхэг шаазан болон бага зэргийн бохирдлоготой шилэн тусгаарлагч дээрх хүчдлийн тархалтыг очлууран цахилгалтын хэмжүүрийн аргаар хэмжиж, онолын тооцоотой нь харьцуулан үзлээ.

### II. ХЭМЖИЛТИЙН АРГАЧЛАЛ

Туршилтыг лабораторын нөхцөлд хийж гүйцэтгэсэн бөгөөд бохирдлоготой шаазан болон өмнө нь шугаманд ашиглагдаж байсан бага зэргийн бохирдлоготой шилэн тусгаарлагчуудын зөвхөн паразитийн багтаамжыг тооцсон. Туршилтийг хувьсах 30 кВ-ийн хүчдлийн трансформатораар гүйцэтгэв. Трансформаторын өндөр талын гаралтад киловольтметрыг зэрэгцээ холбож туршилтын хүчдэлийг хэмжиж үзсэн. Хэмжилт явуулсан тусгаарлагч элементүүд ба хэмжилтийн ерөнхий схемийг 1-р зурагт үзүүлэв.



1-р зураг. Нэг багц 5 элементийн хэмжилтийн схем. (Хэмжүүрийн хүчдлийн трансформатор АМИ-60 хамгийн их хүчдлийн утга нь 30 кВ, өндөр хүчдлийн хэмжүүрийн киловольтетр)

Хэмжилтийг очлууран цахилгалтын аргаар хэмжиж авсан ба 2-р зурагт бөмбөлгөн очлуурт цахилгалт болж байх үеийг үзүүлэв.



2-р зураг. Бөмбөлгөн очлуур. (бөмбөлөг хоорондын зай 1мм, ниргэх хүчдэл 3.7 кВ)

Хэмжилтийн нарийвчлал нь 1-р зурагт үзүүлсэн очлуурын цахилгалт хүчдлээс онцгой хамаарна, иймд түүний ниргэлэгийн хүчдлийг нарийвчлан дараах илэрхийллээр тооцов.

$$U = 24.22 \left[ \frac{293Pd}{760T} \right] + 6.08 \left[ \frac{293Pd}{760T} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Тухайн үеийн агаарын даралт 640 мм м.у.б ба температур 21°C байв.

А. Хэмжилтийн нөхцөлүүд

Хэмжилтийг дараах нөхцлүүдэд гүйцэтгэв.

- Шаазан тусгаарлагч хамгаалах цагираггүй үед
- Шаазан тусгаарлагч хамгаалах цагиргатай үед
- Бохирдлоготой шилэн тусгаарлагч хамгаалах цагираггүй үед
- Бохирдлоготой шилэн тусгаарлагч хамгаалах цагиргатай үед

3-р зурагт хэмжилт явуулсан ПФ-6,ПС-70Д маркийн 6 ширхэг тавган элементүүдийг үзүүлэв. Туршилтийн явцад хүчдлийн трансформаторын чадал очлуурын ниргэх утганд хүрч чадахгүй байсан учир 5 элементээр туршив. Хэмжилтийн нарийвчлалыг сайжруулах зорилгоор хэмжилт бүрийг 6 удаа давтаж авав.



а) б) в)

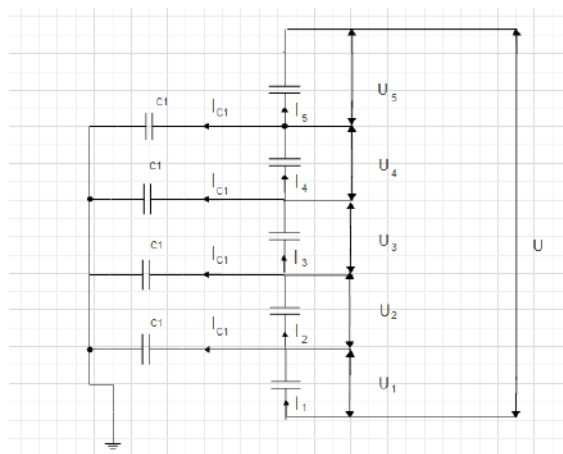
3-р зураг. Тусгаарлагч багцын харагдах байдал. а) Шаазан тусгаарлагч арматургүй, б) Шаазан тусгаарлагч арматуртай, в) Шилэн тусгаарлагч

$$P = \frac{U_{ц}}{U_0} * 100\% \quad (2)$$

үүнд:  $U_{ц}$ -Бөмбөлөг-бөмбөлөг цахилуурын багажийн ниргэх хүчдэл, кВ;  $U_0$ -Туршилтын хүчдэл, кВ;

Б. Онолын тооцоолол

Тусгаарлагчууд дээрх потенциалын тархалтыг цахилгаан статикийн онол дээр үндэслэн багтаамжийн элементээр орлуулж цахилгаан хэлхээний загвараар хүчдлийн хэмжээ бүрийг тооцоолж болно [5]. 4-р зурагт тусгаарлагч элементүүдийн орлуулгын схемийг үзүүлэв.



4-р зураг. Таван ширхэг тусгаарлагчуудын эквивалент схем. ( $C = 30$  пФ шаазан элементийн өөрийн багтаамж,  $C_1$  тулгууртай үүсгэх харилцан багтаамж 3 пФ)

Онолын тооцоог хувьсах хүчдлийн амплитуд утгаар нь Кирхгофын зангилааны гүйдлийн хуулинд тулгуурлан тооцсон илэрхийллүүдийг доор үзүүлэв. Жишээ болгон 3 болон 4 дугаарын тавган тусгаарлагч дээрх хүчдлийг олох тэгшитгэлүүд нь:

$$I_4 = I_5 + I_{C5} \quad (3)$$

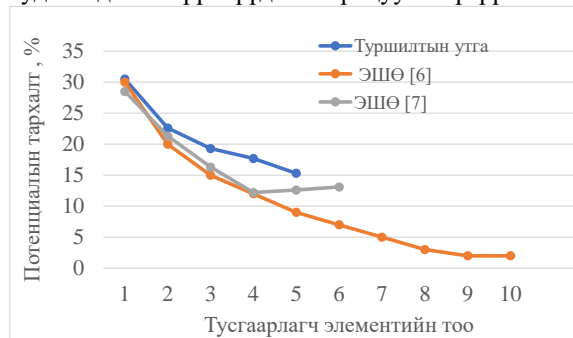
$$I_3 = I_4 + I_{C4} \quad (4)$$

$$V_4 = V_5 \left( 1 + \frac{C_1}{C} \right) \quad (5)$$

$$V_3 = V_5 \left( 1 + \left( \frac{C_1}{C} \right)^2 + 3 \left( \frac{C_1}{C} \right) \right) \quad (6)$$

В. Үр дүнгийн тодорхойлолт, баталгаажуулалт

5-р зурагт хэмжилтийн үр дүнг бусад судлаачдын өгүүлүүдтэй харьцуулан үзүүлэв.



5-р зураг. Тусгаарлагч элементүүд дээрх потенциалын тархалт (хамгаалах цагираггүй үед, утастай үүсэх багтаамж тооцоогүй)

5-р зургаас харахад бидний тооцооллын үр дүн бусад судлаачдын потенциалын тархалтын графиктай ойролцоо үр дүн үзүүлж байна. Энэ нь манай тооцоо, хэмжилтийн арга үнэн зөв болохыг батална.

Ш. ХЭМЖИЛТ, ТООЦООНЫ ҮР ДҮН

Туршилт болон онолын тооцооны үр дүнгийн зөрүү 5.5% байсан нь бидний хэмжилт үнэн зөв

болохыг баталж байна. Хэмжилтийн хүснэгтээс харахад хамгаалалтын цагаригтай үед изоляторууд дээр унах хүчдэл хамгаалалтын цагариггүй үеийнхээс харьцангуй бага байгаа нь хамгаалалтын цагариг (арматур) ашигласнаар тусгаарлах хэлхээний (гирлянд) насжилт, даац, аюулгүй ажиллагааг тодорхой түвшинд өсгөж өгч байна. Мөн манай туршилтуудын нэг тохиолдолд 5-р элементэд бөмбөлөг-бөмбөлөг багажид цахилалт явагдаагүй бөгөөд үүнийг одоогоор тайбарлах боломжгүй байна.

Трансформаторын өндөр талын гаралтын хүчдэл (шугам) холбогдсон тусгаарлах хэлхээний эхний элемент (изолятор) дээр унах хүчдэл бусад элементэд унах хүчдэлээс харьцангуй их байгаа бөгөөд хамгаалах цагариг ашигласны үр дүнд уг элементэд унах хүчдэлийн хэмжээ багасч нийт элементүүд дээр унах хүчдэлийн хэмжээ тогтворжиж байна. 1-р хүснэгт, 2-р хүснэгт, 3-р хүснэгт, 4-р хүснэгтүүдэд хамгаалах цагираг болон түүний байхгүй үеүүдийн хэмжилт, тооцооны үр дүнг хувь болон хүчдлээр тус тус үзүүлэв. Туршилтийг хийх явцад зарим тохиолдолд 5-р элемент дээр цахилалт явагдаагүй нь туршилтыг хийсэн хүчдэлийн түвшин бага байгаатай холбоотой юм.

**1-Р ХҮСНЭГТ. ШААЗАН ТУСГААРЛАГЧ ХАМГААЛАХ ЦАГАРИГАН АРМАТУРГҮЙ ҮЕИЙН ПОТЕНЦИАЛЫН ТАРХАЛТ**

Тоо	Хэмжилтийн хүчдэл $U_0$ кВ	Потенциалын тархалт $P$ , %	Потенциалын тархалт, кВ
1	12.1	30.5	6.97
2	16.3	22.6	5.17
3	19.1	19.3	4.41
4	20.9	17.7	4.03
5	24.1	15.3	3.5

**2-Р ХҮСНЭГТ. БОХИРДЛОГОТОЙ ШИЛЭН ТУСГААРЛАГЧ ХАМГААЛАХ ЦАГАРИГАН АРМАТУРГҮЙ ҮЕИЙН ПОТЕНЦИАЛЫН ТАРХАЛТ**

Тоо	Хэмжилтийн хүчдэл $U_0$ кВ	Потенциалын тархалт $P$ , %	Потенциалын тархалт, кВ
1	9.54	38.7	9.63
2	12.68	29.17	7.26
3	15.27	24.23	6.03
4	17.86	20.71	5.15
5	17.45	21.2	5.27

**3-Р ХҮСНЭГТ. ШААЗАН ТУСГААРЛАГЧ ХАМГААЛАХ ЦАГАРИГАН АРМАТУРТАЙ БАЙХ ҮЕИЙН ПОТЕНЦИАЛЫН ТАРХАЛТ**

Тоо	Хэмжилтийн хүчдэл $U_0$ кВ	Потенциалын тархалт $P$ , %	Потенциалын тархалт, кВ
5	16.8	20.6	4.71

Тоо	Хэмжилтийн хүчдэл $U_0$ кВ	Потенциалын тархалт $P$ , %	Потенциалын тархалт, кВ
4	21.4	19.6	4.48
3	22.3	17.3	3.95
2	26.3	14.1	3.23
1	26.9	14.1	3.23

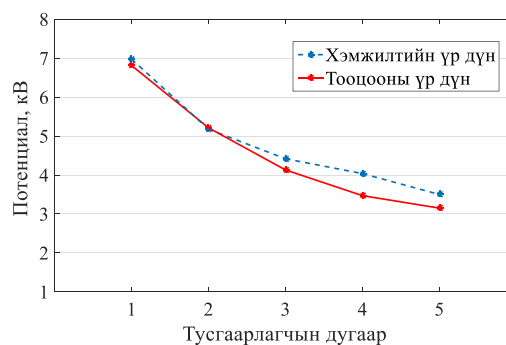
**4-Р ХҮСНЭГТ. БОХИРДЛОГОТОЙ ШИЛЭН ТУСГААРЛАГЧ ХАМГААЛАХ ЦАГАРИГАН АРМАТУРТАЙ ҮЕИЙН ПОТЕНЦИАЛЫН ТАРХАЛТ**

Тоо	Хэмжилтийн хүчдэл $U_0$ кВ	Потенциалын тархалт $P$ , %	Потенциалын тархалт, кВ
5	11.18	33	8.21
4	17.58	21	5.04
3	14.31	25.8	6.45
2	19.77	18.7	4.67
1	19.63	18.8	4.68

**5-Р ХҮСНЭГТ. ОНОЛЫН ТООЦООНЫ ҮР ДҮН**

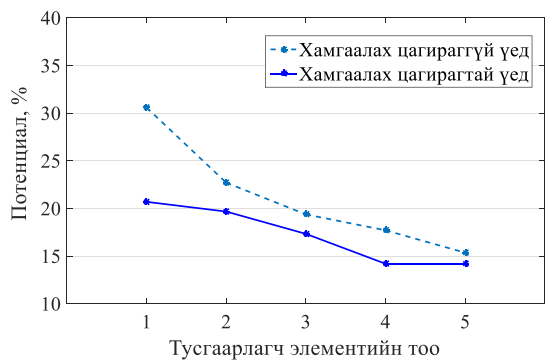
Тоо	Потенциалын тархалт, %	Потенциалын тархалт, кВ
5	29.8	6.81
4	22.8	5.21
3	18.1	4.13
2	15.2	3.47
1	13.8	3.15

6-р зурагт хэмжилт болон тооцооны үр дүнг харьцуулан үзүүлэв. Зургаас харахад бидний тооцоо болон хэмжилт ойролцоо, сайн үр дүн гарсан болох нь харагдаж байна.

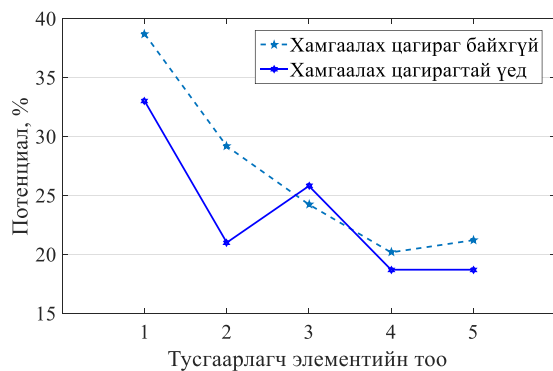


6-р зураг. Тусгаарлагч элементүүд дээрх потенциалын тархалт

7-р зурагт хамгаалах цагирагтай болон цагираггүй үеүүдийн шаазан болон бохирдлоготой шилэн тусгаарлагч дээрх потенциалын тархалтын хувиар харьцуулсан туршилтыг үр дүнг үзүүлэв. Хамгаалах цагираг хийснээр хүчдлийн тархалтыг 7.7 хувиас 32.4 хувь болтол багасгаж байна. Энэ нь тухайн хэлбэрийн хамгаалах цагираг нь потенциалын тархалтыг тогтворжуулж өгч байгаа хэрэг юм.



а)



б)

7-р зураг. Тусгаарлагч элементүүд дээрх потенциалын тархалтын хамаарамж. а) шаазан тусгаарлагч элементүүд, б) шилэн тусгаарлагч элементүүд

Утасны паразит багтаамж тооцооргүй бага нөлөөлөл үзүүлээгүй ба туршилтын үед утас нь объектодгоо перпендикуляр байрлалтай байсантай холбож үзэж болно.

Судалгааны үр дүнд хэмжилт болон онолын тооцооны үр дүн ойролцоо гарсан. Шугамтай хамгийн ойр элементэд хүчдэл хамгийн их тархсан харин холдох үедээ багасаж байсан. Судалгааны үр дүнд шугамтай үүсэх багтаамжийг заавал тооцох ёстойг харууллаа. 30 кВ-н хүчдэлийн түвшинд туршилтаа гүйцэтгэсэн бодит практикт 35, 60, 110, 220 кВ-ийн цахилгаан дамжуулах агаарын шугамуудад тооцоог хийж болохыг энэхүү судалгааны ажилаар баталж байна. Мөн бусад өгүүлүүдтэй харьцуулахад график, хүчдэлийн тархалтын хувь төсөөтэй байгаа нь бидний онолын тооцооллыг бусад шугамд хийж болохыг харуулж байна. Туршилтын үр дүн болон эш татсан [6] өгүүллэгийн утастай харьцангуй багтаамж 0 үеийн графикуудын хувьд элемент тус бүрд унах хүчдэл трансформаторын өндөр талын гаралтын хүчдэлд залгагдсан  $n=1$  изолятороос  $n=5$  изолятор хүртэл буурсан эрэмбэтэй таарч байгаа нь манай туршилт үнэн зөв болохыг батална.

#### IV. ДҮГНЭЛТ

Энэхүү өгүүлэлд ЦДАШ-ийн тусгаарлагын багцын тавган элементүүд дээрх хүчдэл (потенциалын) тархалтыг лабораторын туршилт

болон онолын тооцоогоор харьцуулан, анализ хийлээ. Үр дүнгээс харахад цагариган хамгаалагч нь потенциалын тархалтын хэмжээг хангалттай сайн бууруулж байна. Онолын тооцооны арга нь бидний хэмжилтээр олсон хүчдлийн тархалттай тохирч байна. Иймд энэхүү тооцоонд тулгуурлан манай орны бохирдлого ихтэй болон бохирдлоггүй мужуудад 35 кВ, 110 кВ, 220 кВ-ийн цахилгаан дамжуулах агаарын шугамуудын тусгаарлагчууд дээрх потенциалын тархалтыг тодорхойлоход тус нэмэр болох практик ач холбогдолтой юм. Ирээдүйд утастай харьцангуй багтаамж болон бохирдлогыг тооцож болно.

#### V. НОМ ЗҮЙ

- [1] З.Цэрэндорж, Ц.Эрдэнэбат, “Өндөр хүчдлийн техник:1. Гадаад тусгаарлага, онол, практикийн үндэс,” Монгол улсын шинжлэх ухаан технологийн их сургууль, Улаанбаатар хот, 2015 он.
- [2] Kontargyri, Vassiliki & Gonos, Ioannis & Stathopoulos, Ioannis & Michaelides, A.M. (2006). Measurement and verification of the voltage distribution on high voltage insulators. 10.1109/CEFC-06.2006.
- [3] G. Wang, Z. Zheng, D. Huang, Z. Huang, J. Ruan, Y. Liao, "Simplification study of FE model for 1000 kV ac transmission line insulator string voltage and grading ring surface electric field distribution calculation", TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control) Indonesian Journal of Electrical Engineering, Vol.12, No.2, Feb. 2014, pp. 1188 ~ 1195.
- [4] X. Changfu, H. Chengbo, X. Jiayuan, L. Yunpeng, Z. Kaiyuan and P. Shaotong, "Influence of deteriorated porcelain insulator on electric field and potential distribution of insulators strings in 110 kV transmission lines," 2017 IEEE International Conference on Smart Grid and Smart Cities (ICSGSC), 2017, pp. 162-166
- [5] Ch. Kavitha Chenna Reddy, S. Sujitha, "Voltage distribution across string insulators by sphere gap method," Assitant professor, EEE Department, New Horizon college of Engineering, vol.№6, Issue №08, August 2017.
- [6] S. Ilhan and A. Ozdemir, "Voltage Distribution Effects of Non-Uniform Units in Suspension Strings," 2007 IEEE Lausanne Power Tech, 2007, pp. 801-806.
- [7] K N, Ravi & .N, Vasudev. (2017). Voltage distribution across a string insulator- theoretical and practical study.

## ЭРЧИМ ХҮЧ ҮЙЛДВЭРЛЭЛИЙГ НАЙДВАРТАЙ БӨГӨӨД ҮР АШИГТАЙ АЖИЛЛАХАД УС БЭЛТГЭЛИЙН НӨЛӨӨЛЛИЙН СУДАЛГАА

А.Пүрэвдорж<sup>1</sup>, Б.Оюунсүвд<sup>1</sup>, Б.Өлзийбадрах<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Монгол Улсын Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургууль, Эрчим Хүчний Сургууль

**Хураангуй**–Эрчим хүчний найдвартай, үр ашигтай ажиллахад ус бэлтгэл буюу ус цэвэршүүлэх төхөөрөмж, аргууд онцгой үүрэгтэй. Тэр дундаа хөдөө орон нутаг, аймаг сумдад агаар мэт дутагдаж байна. Уг асуудал дээр мембраны арга, гидро-х-ийн арга, хеламинаар боловсруулах арга гэх мэт 3 нь аргийн дэвшүүлснээс хамгийн тохиромжтой нь Гидро-х-ийн арга юм. Ус бэлтгэх уламжлалт аргуудаас техник эдийн засгийн хувьд хэмнэлттэй, тухайн орон нутгийн дулаан хангамжид суурилуулахад хялбар, заавал мэргэшсэн ажилчин шаардлага байхгүй учир хөдөө орон нутагт нэвтрүүлэхэд тохиромжтой гэж үзэж байна.

**Түлхүүр үг**–Усны хаг хусам, эрдэс менирал, эрчим хүчний үр ашиг, ус цэвэршүүлэх төхөөрөмж.

### ГОРШИЛ

Манай орны аймаг, сумдын дулаан хангамжийг найдвартай бөгөөд үр ашигтай ажиллахад олон хүчин зүйлс нөлөөлж байна. Зуух ба дулаацуулгын системийн хэмнэлттэй бөгөөд найдвартай ажиллах нөхцлийг хангахын тулд тэдгээрт хаг ба зэврэлтийг үүсгэхгүй байх ёстой. Тэр дундаа дулааны эрчим хүчийг хэрэглэгчидэд түгээхэд үндсэн түүхий эдүүд дундаас ус гол үүрэг гүйцэтгэх бөгөөд усны хатуулаг, давслаг гэх мэт чанар муугаас болж дулаан хангамжинд сөргөөр нөлөөлж байна. Одоогоор төвлөрсөн дулаан хангамжтай аймаг, сумуудын 70 гаруй хувьд нь ус бэлтгэл гэх зүйл байхгүй.

Уг асуудлаар Монгол Улсын 21 аймаг, 315 нь сумаас Өмнөговь аймгийн Сэврэй сумыг жишээгээр авья. Өмнөговь аймгийн Сэврэй сумын халаалтын зуухны усны шинжилгээний дүнг хүснэгт 1-т үзүүлэв. Байгалийн усны ерөнхий хатуулаг нь Жо=6-12 мг-экв/л байвал өндөр гэж тооцогддог. Усны химийн шинжилгээний дүнгээр тус сумын халаалтын зуухны усны ерөнхий хатуулаг 8.8 мг-экв/л-тэй байгаа нь өндөр хатуулагтай усны ангилалд багтаж байна.

Усны давс агуулалт нь 1775 мг/л байгаа нь эрдэс давс ихтэйг харуулж байгаа юм. Өмнөговь аймаг нь 2016 оноос сумдынхаа ус халаах зуухнуудаа шинэчилж байгаа бөгөөд 2022 ондоо Сэврэй сумын ус халаах зуух, шинээр магистерал шугам хоолой татахаар төлөвлөгдсөн байгаа. Уг сумын анхны зуух нь Одкон Холденг ХХК-ийн 0.5МВт-ын хүчин чадалтай гар хийцийн ус халаах зуух байсан. Сумын ус хангамжийн систем нь дөрвөн гүний худгаас 100 тн-ы нөөцийн савруу усаа нөөцөлдөг. Энэхүү усаараа зуух болон шугам сүлжээгээ дүүргэж дулааны эрчим хүчийг түгээж байна. Дулаан хангамжийн шинэчилсэн төсөл хэрэгжих хүрээнд ус бэлтгэлийн төхөөрөмжийг цогцоор нь ашиглах

шаардлагатай байна. Ийм усыг шууд сүлжээний усан хэрэглэснээр дараах дутагдалтай талууд тулгарж байна.

- Шугам хоолойн эдэлгээний насжилт хугацаанаасаа өмнө тогтмол засвар үйлчилгээ хийлгэх.
- Шугам хоолойн хананд хаг хусам, зэврэлт үүсэх (1мм зузаантай хаг хусам тогтоход түлшний зарцуулалт 10% нэмэгддэг)
- Шугам хоолойд хаг хусам үүсч бөглөх аюултай байна.
- Тиймээс энэхүү дутагдалтай талуудыг үүсэхээс сэргийлж ус боловсруулах шинэ аргуудаас нэвтрүүлэн суурьлуулах хэрэгтэй байна. Бэлтгэн боловсруулаагүй усыг шугам сүлжээнд ашиглахад үүсэж болох эвдрэл гэмтлийг зураг 1-т үзүүлэв.

1-Р ХҮСНЭГТ. УСНЫ ШИНЖИЛГЭЭНИЙ ДҮН

Дээж авсан газар		Өмнөговь аймгийн Сэврэй сум	
Үзүүлэлт/хэмжих нэгж		мг/л	мг-экв/л
2	Цахиурын хоёрч исэл SiO <sub>2</sub>	9.6	
3	Ерөнхий хатуулаг	-	8.8
6	Перманганатын исэлдэлт	4.32	
7	pH	7.83	
8	Давслаг	1775	
Катионууд			
1	Na <sup>+</sup> /K	92.0	3.91
2	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.26	0.014
3	Ca <sup>2+</sup>		5.9
4	Mg <sup>2+</sup>		2.9
5	Fe <sup>3+</sup>	0.39	0.007
7	Cu <sup>2+</sup>	0.08	
Анионууд			
1	Cl <sup>-</sup>	64.0	1.8
2	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	75.0	1.56
3	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	5.3	0.0085
4	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.06	-
5	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0	0
7	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	408.8	6.7



1-р зураг. Дулааны шугамын гэмтэл

ДЦС-ын нэмэлт ус бэлтгэхэд уламжлал болон хэрэглэдэг ирсэн **химийн болон дулааны аргууд** нь анхны технологиуд боловч тус бүрдээ дараах дутагдалтай талуудыг агуулж байдаг.

**Химийн аргын хувьд:**

1.Химийн гэсвэртэй материалаар хийгдсэн, нарийн нийлмэл төхөөрөмжүүд (ион солилцооны төхөөрөмжүүд) байдаг тул үнэ өндөртэй.

2.Урьдчилсан цэвэрлэгээний химийн боловсруулалт ба ион солилцооны сэргээлтэнд химийн бодисыг их хэмжээгээр хэрэглэдэг.

3.Химийн бодис их хэмжээгээр хэрэглэдэг тул хортой хаягдал нь төдий чинээ ихсэж, хүрээлэн буй орчныг бохирдуулдаг.

**Дулааны аргын тухайд(ууршуулах төхөөрөмж):**

1.Усыг халааж, буцалгаж, ууршуулаад дараа нь буцааж хөргөн, конденсацалдаг тул дулааны алдагдал ихтэй.

2.Фазын шилжилт явагддаг тул усан горим маш нарийн байх шаардлагатай.

3.Станцын горим өөрчлөгдөхөд ачаалалаа өөрчлөх чадвар багатай.

Ус боловсруулах уламжлалт аргуудын эдгээр дутагдалтай талуудыг давтахгүйгээр усыг боловсруулах шинэ арга, технологийг нээж, туршиж, нэвтрүүлэх асуудал чухалаар тавигдаж байна. Сүүлийн жилүүдэд ус боловсруулах **“мембраны”, “Гедро-х”-ийн, “Хеламины”** г.м аргуудыг туршин, үйлдвэрлэлд нэвтрүүлж байна. Эдгээр аргуудын давуу талууд нь:

1.Ус боловсруулах процесс тасралтгүй явагддаг (ион солилцооны шүүлтүүрүүдийг сэргээхийн тулд зогсоодог).

2. Химийн бодис хэрэглэхгүй (зөвхөн урьдчилсан цэвэрлэгээний үед л хэрэглэж болно).

3. Химийн бодис хэрэглэхгүй тул хортой хаягдал байхгүй.

Дээрх гурван аргаас Гидро-х техник технологиор аймаг сумын дулаан хангамжийн сүлжээний ус боловсруулах нь бусад ус боловсруулах тоног төхөөрөмжнөөс эдийн засгийн болоод урсгал зардал хувьд хямд байна. Мөн суурьлуулахад хялбар, мэрэгшсэн ажилчин шаардлагагүй гэх зэрэг давуу талуудтай.

**II.ГИДРО-Х-ЭЭР УСЫГ БОЛОВСРУУЛАХ**

Боловсруулах усандаа Гидро-х өнгөгүй, үнэргүй, хөөсөрдөггүй шингэн бодисыг холиход уг усны коррози ба хаг үүсэх чанар нь арилдаг байна.

Үүнийг уурын ба ус халаагуурын зуух, дулааны шугам сүлжээнд хэрэглэх боломжтой. Уг бодисыг дангаар нь эсхүл зөөлрүүлэх бодистой хавсран хэрэглэхэд хаг ба коррози үүсэлт арилахаас гадна саармаг бөгөөд маш цэвэр уур үүсдэг.

Гидро-х дотор агуулагдаж буй органик бодисууд нь ерөнхий жин бага, жижиг ширхэгтэй, саармаг, гадаргуугийн идэвхтэй шинж чанарыг агуулсан байдаг тул усан доторх бүх төрлийн бодисууд тэр дундаа хатуулгийн давсуудыг өөртөө шингээж авах чадвартай байдаг. Эдгээр үйлчиллийн нөлөөгөөр усан дахь бүх хольц задарч, маш нарийн ширхэгтэй, нитэг үүсгэж, хаг тогтолгыг арилгадаг. Үлээлгийн хэмжээ оргинак бус бодисоор боловсруулж байх үеийнхээс 30... 60% бага байна. Тэжээлийн усны орох талд суурилуулсан юүлүүр эсхүл тустай тунгийн нососоор усруу оруулна.

Хоногт 1...3 удаа ижил завсарлагатайгаар Гидро-х-ийг өгнө. Нэмэлт ус нь боловсрогдоогүй түүхий бол эхний тунг 1тн усанд 1л оногдохоор: ердийн тунг 1 тн усанд 0,2 л: цэвэрлэх үеийн тунг ердийнхөөс 50 % их байхаар бодож өгнө. Хэрэв нэмэлт ус нь зөөлөрсөн бол эхний тунг зуухны 1 тн усанд 0,1 л: ердийн тунг 1 тн ууранд 0,04 л: цэвэрлэх тунг ердийнхөөс ихэсгэж өгнө.

**ГИДРО-Х-ийг** хэрэглэснээр дараах үр дүнд хүрэх боломжтой. Үүнд:

1.Тоноглолыг найдвартай ажиллах магадлалыг дэвшүүлдэг.

2.Үлээлгийн хэмжээг бууруулснаар дулааны алдагдлийг багасгаж, улмаар түлш хэмнэнэ.

3.Натрийн фосфат, сульфит, шүлт, аммиак, гидразин мэтийн их хэмжээний нитэг ба хөөс үүсгэдэг мөн коррози үүсгэдэг бодисыг хэрэглэхгүй.

4.Энэ бодисоор усыг боловсруулахын тулд тусгай нэмэлт төхөөрөмж суурьлуулах шаардлагагүй байдаг бөгөөд боловсруулах технологи нь ч хялбар байна.

5.Тогтсон хаг хусмыг арилгах зорилгоор олон янзын цэвэрлэгээ ба засвар хийх шаардлагагүй болно.

6.Тоноглол ба хүрээлэн буй орчиндоо элдэв хортой нөлөөлөл үзүүлдэггүй.

Гидро-х-ээр усыг боловсруулах арга технологийг манай орны эрчим хүчний үйлвэрүүдэд ялангуяа усан халаалтын зуух дулаан хангамжийн системд нэн тохиромжтой.

### **Ш.ДҮГНЭЛТ**

1. Ус халаагуурын зуухны усыг зөв боловсруулах нь дулаан хангамжийн системийн ажиллагааны найдвартай байдлыг хангах гол үндэс юм. Зуухны усыг Гидро-Х бодисоор боловсруулснаар халаалт, дулаан хангамжийн системийн ашиглалтын хугацааг уртасган илүү үр дүнтэй ажиллуулах боломжийг хангахад түлхэц болно гэж үзэж байна.

2. Гидро-Х бодисыг ашигаснаар зуухны нэмэлт усны PH -ыг 9.5 хүртэл нормт хэмжээнд хүргэх боломжтойгоос гадна дулаан хангамжийн системийн шугам хоолой, ус дулаан дамжуулах тоног төхөөрөмжүүд, халаалтын хэрэгсэл, халаалтын зуухны эдэлгээний хугацааг 20 жил хүртэл хугацаагаар уртасгах боломжтой юм.

3. Дулааны хүчний тоноглол, шугам сүлжээнд дотоод усны чанарын нөлөөллөөр үүсч байгаа гэмтэл аймгийн төв болон сум сууринд суурилагдсан ус халаагуурын зуухны хувьд харьцангуй их байгаа учраас ус боловсруулах үр дүнтэй аргыг нэвтрүүлэх зайлшгүй шаардлагатай.

4. Технологийн ус боловсруулах оновчтой арга технологийг тодорхойлон овор хэмжээ болон ашиглалтын зардал багатай тоног төхөөрөмжийг бий болгох нь зөвхөн хотын төвлөрсөн хэрэглэгчид биш бага оврын ус халаагуурын зууханд холбогдож байгаа хэрэглэгчид хөдөө орон нутгийн хэрэглэгчийн хувьд тулгамдсан зорилт болж байгаа тул энэ тал дээр эрдэмтэн судлаачид анхаарлаа хандуулж төсөл боловсруулан хэрэгжүүлэх шаардлагатай байна.

### **IV.НОМ ЗҮЙ**

- [1]. Лопотышкина Н.П., Сазонов Р.П. Водоподготовка и водно-химический режим тепловых сетей.-М.: Энергоиздат, 1982-200с
- [2]. Кострикин Ю.М., Мещерский Н.А., Корвина О.В. Водоподготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления.-М.: Энергоатомиздат, 1990-254с
- [3]. Ц. Цэнджав. Ус бэлтгэл. УБ., 2006-143х
- [4]. Баранке К. Бебин. Ж. Технические записки по проблемам воды. М., 1983-607с
- [5]. Субботина. Н.П. Водной режим и химический контроль на ТЭС. М., Энергоатомиздат. 1985-312с.



## ЭРЧИМ ХҮЧ ҮЙЛДВЭРЛЭЛЭЭС ҮҮСЭХ АГААРЫН БОХИРДОЛЫГ БУУРУУЛАХ ТООЦООНЫ ЗАРИМ ҮР ДҮНГЭЭС

М.Цогзолмаа<sup>1</sup>, Б.Өлзийбадрах<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим Хүчний Сургууль, Дулааны инженерийн салбар  
[tsogzoo0628@gmail.com](mailto:tsogzoo0628@gmail.com)

*Хураангуй*–Одоог хүртэл алслагдсан аймаг, сум орон нутгийн хэрэглэгч нарыг эрчим хүчээр хангах нь асуудал хэвээр байсаар байна. Сумдуудын төвлөрсөн дулаан хангамжийн хувьд ихэвчлэн хатуу түлшээр ажилладаг дулааны эх үүсгүүртэй, зарим газраа нүүрсээ холоос зөөдөг нь тээврийн зардал болон түлшний зардал өсөх шалтгаан болж байна. Ингэснээрээ хатуу түлшийг эрчим хүчний цэвэр хийн түлшээр солих болоцоог олгох боломжыг үүсгээд байна. Тус судалгаанд Өвөрхангай аймгийн Баянтээгийн нүүрсний уурхай ба М-Си-Эс Кока-Кола компаны хийн станцын ерөнхий түлшний хорт бодисын хэмжээг харьцуулан үзүүлээ.

*Түлхүүр үг*–Нүүрс, байгалийн хий, орон нутгийн дулаан хангамж, хорт хийн хаягдал.

### I. УДИРТГАЛ

Бүх төрлийн түлш хэрэглэж ажилладаг эрчим хүчний техникийн хэрэгслээр агаар мандалд жил тутамд хорт хийн хэмжээг тодорхойлбол: хүхрийн давхар эсэл (180-200)·10<sup>6</sup>т, нүүрсстөрөгч (350-400)·10<sup>6</sup> т, азотын эсэл (60-65)·10<sup>6</sup> т, нүүрсустөрөгч (80-90)·10<sup>6</sup>т.

Монгол улсын эрчим хүчний системийн анхдагч эх үүсгүүрийн хувиар авч үзвэл нүүрс ойролцоогоор 90 хувь байна. Үүнээс үүдэн Монгол улсад тулгамдаж буй асуудлуудын нэг агаарын бохирдол юм. Хатуу түлш буюу нүүрсийг эрчим хүчний анхдагч эх үүсгүүрээр ашиглах нь суурин газрын агаарын чанарыг ихээр бууруулдаг. Хүрэн нүүрсийг шатаахад азот болон хүхрийн ислүүд (NO<sub>x</sub> и SO<sub>x</sub>) гэх мэт хорт бодисууд ялгарахаас гадна үнс, хөө тортог мөн бензапирен ихээр ялгардаг. Улмаар эрчим хүчний объект, үйлдвэрт хүрэн нүүрсийг үндсэн түлшээрээ шууд ашиглах нь байгаль орчинд онцгой сөрөг нөлөө ихээр үзүүлдэг.

Иймд манай орны хувьд нүүрсийг хэрхэн үр дүнтэйгээр ашиглах талаарх болон байгаль орчинд ээлтэй, нүүрсний шаталтаас үүсэх хорт хаягдлуудыг дээд зэргээр бууруулсан, шинэ дэвшилтэт арга технологиудыг цаг алдалгүй судалж, салбартаа нэвтрүүлэх мөн байгалийн хий мэт экологийн цэвэр түлшийг эрчим хүч үйлдвэрлэлдээ ашиглах нь нэн түрүүний зорилт байх ёстой.

М-Си-Эс Кока-Кола компани жилдээ 6100-6800 тн буюу 100 гаруй вагон түүхий нүүрс ашигладаг байж байгаад одоо хийгээр ажилладаг хамгийн анхны станцыг нэвтрүүлсэнээрээ агаарын бохирдлыг бодитойгоор бууруулах арга замыг эрчим хүчний салбарт шинээр нэвтрүүлсэн юм.

Энэ хүү өгүүллээр манай орны аймаг сумдын дулаан хангамжийн эх үүсгүүрт эрчим хүч үйлдвэрлэх явцад ялгарах хорт хийн агууламжийг багасгах судалгааны хэсэг үр дүнгээс танилцуулах болно.

### II. СУДАЛГААНЫ ОБЪЕКТИЙН ТУХАЙ

Уг өгүүлэлд дулаан хангамжийн нэгдсэн системгүй сум, аймгуудыг төлөөлүүлэн Архангай аймгийн Цэцэрлэг сумыг авч үзлээ. Тус сум нь дулаан хангамжийн төвлөрсөн эх үүсвэргүй бөгөөд албан болон ААН байгууллагууд тус бүрдээ уурын зуух болон нам даралтын жижиг зуухнуудтай ба нүүрсээ Булган аймгийн Сайханы уурхайгаас авдаг байсан боловч нуранги үүссэний улмаас хаагдсан юм. Одоогоор Өвөрхангай аймгийн Баянтээгийн уурхайгаас нүүрсээ 600-аад километрийн цаанаас тээвэрлэдэг байна. Баянтээгийн нүүрсний тодорхойломжыг 1-р хүснэгтэд, М-Си-Эс Кока-Кола компаний ашигладаг хийн түлшний тодорхойломжийг 2-р хүснэгтэд тус тус үзүүлэв.

1-Р ХҮСНЭГТ. НҮҮРСНИЙ ТОДОРХОЙЛОМЖ

Нэр	W <sup>a</sup> , %	A <sup>a</sup> , %	S <sup>a</sup> , %	C <sup>a</sup> , %	H <sup>a</sup> , %	O <sup>a</sup> , %	N <sup>a</sup> , %	Q, ккал/кг
Баянтээг	16.6	19	0.4	35.4	3.6	24.5	0.5	3440

2-Р ХҮСНЭГТ. БАЙГАЛИЙН ХИЙН ТОДОРХОЙЛОМЖ

Нэр	CH <sub>4</sub> , %	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> , %	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> , %	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> , %	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> , %	Q, МДж/м <sup>3</sup>
Байгалийн хий	91.3	4.2	0.13	0.83	0.58	38.74

Агаарын бохирдолтыг үлэмж хэмжээгээр нэмэгдүүлдэг мөн хол зайнаас нүүрсийг машинаар тээвэрлэдэг зэрэг дутагдалтай талыг харгалзан үзэж Цэцэрлэг сумын дулаан хангамжийн нэгдсэн системийн эх үүсгүүрт ашиглах түлшийг шингэрүүлсэн байгалийн хийгээр солих нь үр дүнтэй эсэх тухай тооцоолол гүйцэтгэж дүгнэлт гаргав.

### III. ТООЦООНЫ ҮР ДҮН

Тооцоололдоо М-Си-Эс Интернэйшнл компани хэрэгжүүлсэн төслийн БНСУ-ын DAЕYЕOL компанийн уурын зуухыг сонгов. БНСУ-ын уурын зуухыг 1-р зурагт үзүүлэв. Зуухний үзүүлэлтүүдийг 3-р хүснэгтэд харуулав.

3-р ХҮСНЭГТ. Уурын зуухны ҮЗҮҮЛЭЛТ

№	Нэр	Үзүүлэлт
1	Уурын хүчин чадал	4 т/ц
2	Уурын даралт (max)	1.6 МПа
3	Түлшний зарцуулалт	174 кг/ц
4	Халах гадаргуу	30.3 м <sup>3</sup>
5	Галын хотолын эзэлхүүн	2.4 м <sup>3</sup>



1-р зураг. БНСУ-ын DAEYEOL уурын зуух

Атмосферт хаягдах нүүртөрөгчийн исэлийг тодорхойлохдоо тооцооллын дараах аргачллыг ашигласан болно. Тооцооны үр дүнг 2-р зурагт дүрслэн үзүүлээ.

Баянтээгийн нүүртөрөгчийн исэл:

$$M_{co} = 0.01 \cdot Q_{co} \cdot B_m \cdot \left(1 - \frac{q_3}{100}\right) \quad (1)$$

$$Q_{co} = q_a \cdot R \cdot \frac{Q_I^r}{1.013} \quad (2)$$

энд:  $Q_{co}$  - Зуухны ашиглалтын үед төрөл бүрийн түлшний шаталтаас үүсэх нүүртөрөгчийн ислийн хэмжээ;  $R$  - Нүүртөрөгчийн исэл үүссэнээр гарах химийн дутуу шаталтаас үүсэх дулааны алдагдлын хувь;  $Q_{co}$  - Утааны хий дэх нүүртөрөгчийн ислийн хэмжээ 0.01%,  $Q_I^r$  - Түлшний шаталтын доод дулаан (16.5 нүүртөрөгчийн дутуу шаталтаас ялгарах дулаан, мДж/кг);  $q_3$  - Химийн дутуу шаталтын дулааны алдагдал механик нүүрсний шидэгчтэй галын хотолд (0.5-1)

Байгалийн хийн нүүртөрөгчийн исэл:

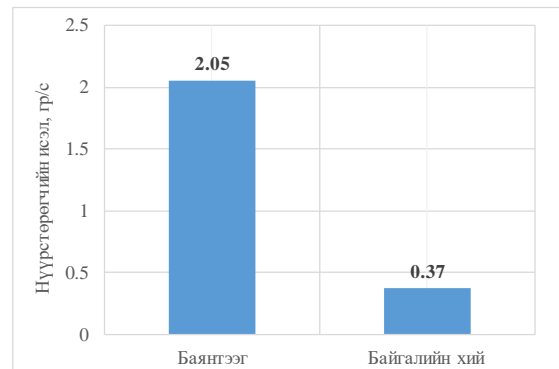
$$M_{co} = q_3 \cdot R \cdot Q_H^p \cdot B \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \cdot K_n \quad (3)$$

энд:  $q_3$  - химийн дутуу шаталтын алдагдлын коэффициент, 0.2 %;  $q_4$  - механик дутуу шаталтын алдагдлын коэффициент, 0 %;  $R$  - шаталтаар үүссэн хийнд СО байснаар химийн дутуу шаталтат үүсгэх харьцааг тооцсон коэффициент, (хийнд=0.5);  $Q_H^p$  - түлшний илчлэг, МДж/м<sup>3</sup>;  $K_n$  - нэгжийн шилжүүлгийн коэффициент, 0.001.

Тооцоогоор агаарын бохирдол түлш болон эх үүсгүүрээс хамаарах хамаарлыг судлан, жишээгээр Цэцэрлэг сумын дулаан хангамжийн системийг авч үзэв. Цэцэрлэг сумд ашиглаж байгаа Баянтээгийн түлшнээс гадна байгалийн хийнээс ялгарах хүхрийн дутуу исэл, хүхрийн ангидрид, нүүртөрөгчийн исэл, азотын исэлийн тооцоог хийж гүйцэтгэсэн. Дээрх бүгдээс

дүгнэхэд тус аймаг дахь одоо хэрэглэгдэж байгаа зуухнуудыг халж хийн станц байгуулснаар агаар бохирдуулагч бодисын хэмжээг 2 дахин болон түүнээс дээш хувиар багасгах боломжтойг харуулж байна.

Тэр тусмаа байгалийн хийг ашиглах нь нүүртөрөгчийн исэлийн үлэмж хэмжээгээр бууруулж болохыг тооцооны үр дүнгээр харьцуулалт хийн харуулсан 2-р зураг илтгэж байна.



2-р зураг. Түлшнээс хамарсан СО ялгарлын харьцуулалт

Хийн түлшний давуу тал:

- бүрэн шаталт явагддаг;
- дулаан ялгаруулах чадвар өндөр;
- шатсны дараа хортой нэгдэл ба угаа, тортог, тунадас бага үүсдэг;
- урт хоолойгоор зөөвөрлөхөд хялбар.

Хийн түлшний сул тал:

- агаарт алдагдаж холилдсон үед дэлбэрэх аюултай;
- ялимгүй нягт газраар их хэмжээгээр алдагддаг;
- ДШХ-ийн түлшний системийг их хэмжээний даралттай байлгах шаардлагатай.

#### IV. ДҮГНЭЛТ

Уг судалгаа нь Цэцэрлэг сумын дулаан хангамжийн нэгдсэн системд ашиглагдах нүүрсний эх үүсвэрийг байгалийн хийгээр сольсноор агаарын бохирдол их хэмжээгээр буурах бололцоотойг харуулж байна.

#### V. НОМ ЗҮЙ

- [1] Н.Бадамцэцэг Уур хийн турбинтэй эрчим хүчний эх үүсвэрүүдийг Монгол улсад ашиглах боломж // Шинжлэх ухаан, инженер-технологийн нийтлэг сэтгүүл “Эрчим хүч&engineering”, 2021 №09.
- [2] Б.Өлзийбадрах, Б.Мөнх-Отгон Эрчим хүч үйлдвэрлэлээс үүсэх агаарын бохирдлыг бууруулах тооцооны зарим үр дүнгээс.
- [3] Н.Оюунцэцэг, Ж.Цэен-Ойдов . Дулааны станцын диплом, курсын төслийн гарын авлага.

**2-р хэсэг.**  
**МАГИСТР ОЮУТНУУДЫН**  
**ИЛТГЭЛҮҮД**

## “ДЦС-4” ТӨХК-ИЙН ЦАХИЛГААН ТОНОГЛОЛЫН ГЭМТЭЛ БА НАСЖИЛТЫН СУДАЛГАА

Б.Батгал<sup>1,2</sup>, М.Баттулга<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Цахилгааны инженерийн салбар

<sup>2</sup> Монгол улс, Улаанбаатар, “ДЦС-4” ТӨХК  
batgalbatbayar@gmail.com, battulga@must.edu.mn

**Хураангуй**–Монгол улсын цахилгаан эрчим хүчний 70 орчим хувь, Улаанбаатар хотын дулааны эрчим хүчний 40 гаран хувийг үйлдвэрлэдэг томоохон станцын нэг юм. Сүүлийн жилүүдэд монгол улсын цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээ тасралтгүй өсөж байгаа хэдий ч энэ ачааллын өсөлтийг хангах шинэ станцууд баригдаагүй байна. Харин энэ ачааллын өсөлтийг хангах зорилгоор хуучин станцуудын суурилагдсан хүчин чадлыг нэмэх, импортын эрчим хүчийг нэмэгдүүлж байна. ДЦС-4 ТӨХК-ийн хувьд анхны суурилагдсан хүчин чадал 540 МВт байсан бол 2022 оны байдлаар 800 МВт хүрсэн байна. Нийт цахилгаан эрчим хүчний дийлэнх хувийг үйлдвэрлэж буй цахилгаан станцын хувьд үйлдвэрлэлийн процесст ашиглагдаж буй үндсэн тоноглол болон туслах тоноглолуудын хувьд гарах гэмтэл, тасралт нь их хэмжээний хохирол учруулна. Тиймээс эдгээр тоноглолуудын хувьд гарч буй гэмтэл, тасралтыг шалтгаан нөхцөлүүдийг тодорхойлох зорилгоор статик өгөгдлүүдэд дүн шинжилгээ хийж үр дүнг танилцуулсан болно.

*Түлхүүр үг*–**насжилт, зарцуулалт, трансформатор, өдөөлт.**

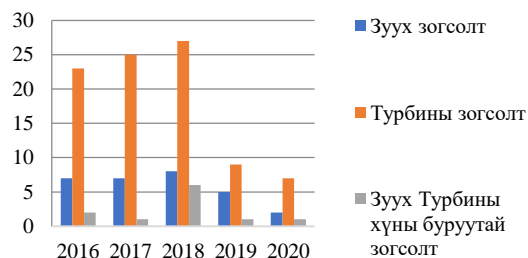
### I. ОРШИЛ

ДЦС-4 ТӨХК –ийн суурийг 1979 онд тавьж 1983 онд эхний агрегат 80 МВт, 1984 онд 2 агрегат бүхий 180МВт, 1895 онд 3 агрегат бүхий 280МВт, 1896онд 4 агрегат бүхий 380 МВт, 1990 онд 5 агрегат бүхий 460МВт, 1991 онд 6 агрегат бүхий 540 МВт суурилагдсан хүчин чадалтай болсон бөгөөд өөрийн инженерүүдийн санаачилгаар хүчин чадлыг 2007 2009 онд 20 МВт тус тус нэмэгдүүлсэн. 2015 онд Турбоагрегат №7-г шинээр ашиглалтанд оруулж 2019-2020 онуудад Турбоагрегат №1-4 шинэчилснээр 800МВт цахилгаан эрчим хүчний 1373 Гкал дулааны эрчим хүчний суурилагдсан хүчин чадалтай. Хөндлөн холбоос бүхий 8 зуух, 7 турбинтэй цахилгаан, дулаан хослон үйлдвэрлэх схемтэй ажиллаж байна [1-4].

### II. СУДАЛГААНЫ ХЭСЭГ.

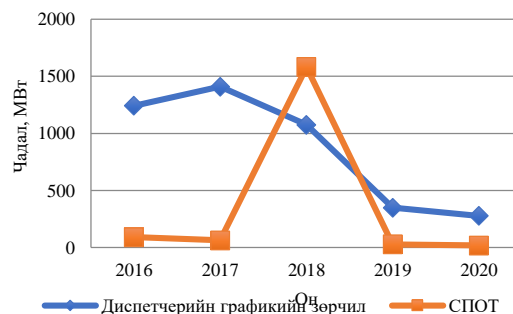
#### ҮНДСЭН ТОНОГЛОЛЫН ГЭМТЭЛ БОЛОН НАСЖИЛТЫН СУДАЛГАА

ДЦС-4 ТӨХК-ийн хамаарал бүхий өөрийн өмчлөлийн цахилгаан тоноглолууд дээр гарч буй тасралтын статистик үзүүлэлтүүдийг үндсэн тоноглолын хувьд 2016-2020 оны хооронд авч үзэв. Гэмтэл гарч буй тоноглолуудыг ангилж цахилгаан тоног төхөөрөмжийн ашиглалтын явцад үүссэн физик, химийн процесс, механик элэгдэл хуучралтын дэлгэрэнгүй судалгааг гаргаж, шинэчлэх шаардлагатай тоног төхөөрөмжүүд болон тоног төхөөрөмжид засвар үйлчилгээ хийх төлөвлөлтийг гаргахын тулд насжилтыг тодорхойлох хэрэгтэй [5,6].



1-р зураг. Үндсэн тоноглолын тасралтын судалгаа (2016-2020)

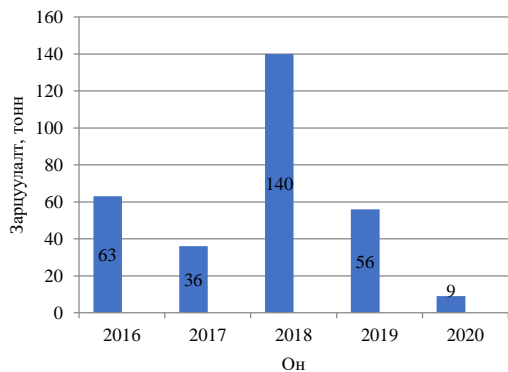
Тасралтын статистик судалгаанаас харахад жилд дунджаар Зуух зогсолт 5-8 удаа, турбины зогсолт 7-27 удаа, хүний буруутай ажиллагаанаас үүдэлтэй зогсолт 1-6 удаа гарсан бөгөөд сүүлийн 2 жил тасралт 60%-иар буурсан үзүүлэлттэй байна.



2-р зураг. Диспетчерийн графикийн зөрчил, (2016-2020)

Үндсэн тоноглол дээр гарсан тасралттай холбогдож диспетчерийн графикийн зөрчил гарж байгаа ба зөрчил гарснаар СПОТ эрчим хүч нэмэгдэж байна. 2018.09.17 гарсан нойл зогсолт

болж төвийн бүсийн эрчим хүчний хэрэглээний 70 хувийг дангаараа хангадаг IV цахилгаан станцад гэмтэл гарч, улмаар III станцын үйл ажиллагаанд нөлөөлснөөр нийслэл хот, төвийн таван аймагт нөлөөлсөн ба СПОТ болон мазутын хэрэглээ өндөр гарсан.



3-р зураг. Мазут зарцуулалт (2016-2020)

Мазутын зарцуулалт нь үндсэн тоноглолын төлөвлөгөөт болон төлөвлөгөөт бус зогсолтын графиктай шууд хамааралтай ба үндсэн тоноглол зуухыг хурдан ажиллагаанд оруулж зуухыг хэвийн ажиллуулахад зарцуулагдсан байна.

1-Р ХҮСНЭГТ. ТАСРАЛТЫН ШАЛТГААН (2016-2020)

д/д	Гэмтлийн шалтгаан	2016 он	2017 он	2018 он	2019 он	2020 он
1	Секп хүчдэлгүй болсон	1	6	1	1	2
2	Уур халаагч	0	0	1	1	0
3	Халалт	3	1	2	1	0
4	Газардлага	3	2	1	1	0
5	Кабель гэмтсэн	2	1	0	0	0
6	Өдөөлт гэмтсэн	14	3	9	0	3
7	Шётогны аппарат	3	4	1	3	0
8	Түвшин бууралтын хамгаалалт	0	1	2	0	0
9	Трансформаторын оруулга гэмтсэн	0	3	1	1	0
10	Роторын контактын кольц	0	1	0	1	2
11	Генераторын дотоод гэмтэл	0	1	2	0	0
12	10.5кВ талын гэмтэл	0	2	1	1	1
13	Гал галын төрлийн хамгаалалт	0	1	1	0	0
14	Ус төрөгчийн алдагдал	0	1	2	0	0
15	Залгах Таслах аппаратурын гэмтэл кноп	1	0	2	1	0
16	СПШ дээрх гэмтэл Богино залгаа	0	0	7	0	0
17	Хэвийн бус горим	0	2	1	1	1
18	Тосны алдагдал	0	1	1	0	0
19	Хүний буруутай үйлдэл	2	1	6	1	1
20	Газохладителлийн гэмтэл устгах	1	0	0	0	0
21	Бусад	2	2	0	2	0

2-Р ХҮСНЭГТ. ТАСРАЛТЫН СТАТИСТИК ҮЗҮҮЛЭЛТ (2016-2020)

Он	Аваарын тасралт	Төлөвлөгөөт тасралт
2016	23	9
2017	22	11
2018	32	9
2019	10	5
2020	8	2

Үндсэн тоноглолын зогсолт хамгийн их тоо болон хувийг өдөөлтөөс болж байсан ба 2019-2020 онуудад үндсэн тоноглолын тасралт 60%-аар буурсан ба өдөөлтийн систем шинэчлэгдсэнтэй холбоотой.

3-Р ХҮСНЭГТ. НАСЖИЛТИЙН ҮЗҮҮЛЭЛТ [5-7]

1	Хэвийн ашиглагдах үе	Эхний алхам нь: тоноглолын хамгийн сүүлийн мэдээлэл дээр үндэслэгдсэн тоног төхөөрөмжийн зөвшөөрөгдөх болон сайжруулах боломжтой насжилтын үеийн мөчлөг тодорхойлно.
2	Засвар үйлчилгээ шаардах үе	
3	Байнгын хяналтын үе	Хоёрдугаар алхам нь: ашиглалтад буй тоног төхөөрөмж хязгаарлагдмал үйлчилгээний үеийн мөчлөгт шилжих онцгой тохиолдол шинэчлэх асуудал шаардлага гарна. Засвар үйлчилгээний зардал өндөр сэлбэг материал олдоц ховор.
4	Найдваргүй үе	

2021 онд судалгаанд хамрагдсан 6297 нэгж тоноглолыг 2020 онтой харьцуулахад

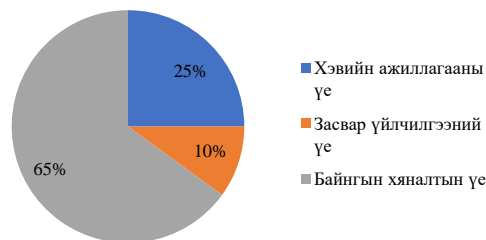
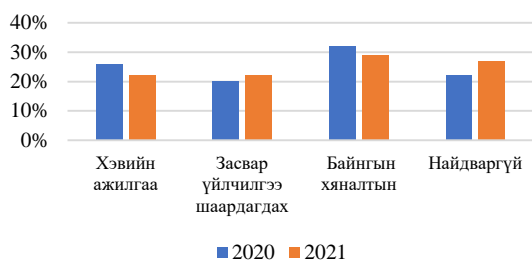
- Хэвийн ажиллагааны үед байгаа тоноглол өмнөх оноос 16.36%-аар буурсан
- Засвар үйлчилгээ шаардагдах тоноглол 12.54%-аар өссөн
- Байнгын хяналтын үеийнх 12.95%-аар буурсан
- Найдваргүй үед орсон тоноглол 17.3%-аар өссөн

4-Р ХҮСНЭГТ. ЦАХИЛГААН ТОНОГЛОЛЫН НАСЖИЛТ (2016-2021)

Үзүүлэлт	2016 он	2017 он	2018 он	2019 он	2020 он	2021 он
Хэвийн ажиллагааны үе	1808	1704	1859	1800	1629	1400
	30%	27.5%	30.1%	29.0%	25.9%	22.2%
Засвар үйлчилгээ шаардагдах үе	1357	1346	1239	1149	1228	1404
	22.5%	21.8%	20.0%	18.5%	19.5%	22.3%
Байнгын хяналтын үе	2166	2282	2212	2036	2058	1822
	36.0%	36.9%	35.8%	32.7%	32.7%	28.9%
Найдваргүй үе	690	856	875	1232	1382	1671
	11.5%	13.8%	14.1%	19.8%	21.9%	26.5%
Нийт	6021	6188	6185	6217	6297	6297

Генераторын болон түүний реле хамгаалалтын хувьд сүүлийн жилүүдэд өргөтгөл, шинэчлэл хийгдсэний улмаас хэвийн ажиллагааны үетэй тоноглол нэмэгдэж 71% болтол өсөж, байнгын хяналтын үе дэх тоноглол

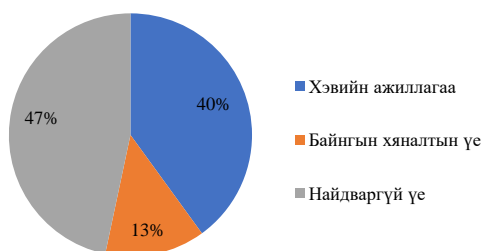
29% болж буурсан ба дундаж насжилт нь 10.1 жил, ажилласан дундаж хугацаа 88476 цаг байна.



7-р зураг. Токопроводын насжилт

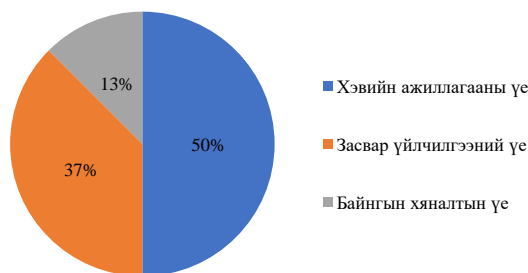
4-р зураг. Цахилгаан тоноглолуудын насжилт (2020, 2021)

110/220кВ-н хүчний трансформаторууд, түүний реле хамгаалалтын хувьд хэвийн ажиллагааны үе 40%, байнгын хяналтын үе 13%, найдваргүй ажиллагааны үе 47%-тай тоноглолууд байгаа ба дундаж насжилт 23.4 жил буюу 199929 цаг тасралтгүй ажилласан статистик үзүүлэлт гарч байна. Трансформаторын хувьд ажиллагааны найдваргүй үе өндөр байгаа нь зундаа өндөр температурт хүрч халдаг ба байнгын хяналт болон албадмал хөргөлт ашиглаж байгаатай холбоотой байж болох юм.



5-р зураг. Трансформатор, түүний реле хамгаалалтын насжилт.

Генераторуудын өдөөлтийн систем, түүний реле хамгаалалт, автоматикийн хувьд хэвийн ажиллагааны үе 50%, байнгын хяналтын үе 13%, засвар үйлчилгээний үе 37%-тай тоноглолууд байгаа ба дундаж насжилт 8.3 жил буюу 72708 цаг тасралтгүй ажилласан статистик үзүүлэлт гарч байгаа нь 1-4-р турбоагрегатын шинэчлэлийн ажлын хүрээнд хийгдсэн өдөөлтийн системийн шинэчлэлтэй холбоотой.



6-р зураг. Генераторуудын өдөөлтийн систем, түүний реле хамгаалалт, автоматикийн насжилт

Турбоагрегатын гаргалгаас трансформаторын оруулга, трансформаторын гаргалгаас 6, 10.5 кВ-ын ажлын оруулга хүртэлх токопровод нь, дундаж насжилт 25 жил буюу хэт хуучралтад орсон бөгөөд гадна хамгаалалтын бүрхүүлийн тусгаарлага муудаж, хэвийн найдвартай ажиллагааг хангахад хүндрэлтэй болсон.

### III. ДҮГНЭЛТ

Тасралтын статистик судалгаанаас харахад үндсэн тоноглол 24 удаа тасралт гарсан буюу 60%-иар буурсан, тоноглолын тасралтын улмаас үүсэх СПОТ зарцуулалт болон мазут зарцуулалт, диспетчерийн графикийн зөрчил мөн адил буурсан үзүүлэлт харагдаж байна. Энэ нь үндсэн тоноглолын насжилт, түүнийг дагаад найдвартай ажиллагаа дээшлэх үзүүлэлт болж байгаа мэт боловч зарим цахилгаан тоноглолууд буюу трансформатор, токопроводын насжилт өндөр, хэт хуучралтад орсны улмаас найдвартай ажиллагааг хангахад хүндрэл учирч болзошгүй байна.

Насжилт өндөр, найдваргүй ажиллагааны үедээ орсон тоноглолуудын хувьд цахилгаан техникийн туршилт даахгүй, ашиглалтын явцад үүссэн физик, химийн процесс, механик элэгдэлд орж гэмтэл гарах нөхцөл бий тул түүнийг тодорхойлж оновчтой төлөвлөлт хийн техник технологийн тасралтгүй, найдвартай, үр ашигтай ажиллагааг хангах хэрэгтэй.

### IV. НОМ ЗҮЙ

- [1] “ДЦС-4” ТӨХК 2016-2020 оны тайлан
- [2] “ДЦС-4” ТӨХК 2016-2020 оны ашиглалтын акт
- [3] “ДЦС-4” ТӨХК 2016-2021 оны насжилтын судалгаа
- [4] Tpp4.mn
- [5] Mancheng Yi; Meina Pu; Zhaofang Zhu; Chunhui Gu; Haibo Su; Xiaohua Wang, “Research on insulation aging of distribution switchgear” International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis (CMD), 2016.
- [6] J. E. Cota-Felix, F. Rivas-Davalos and S. Maximov, "An alternative method for estimating mean life of power system equipment with limited end-of-life failure data" IEEE Bucharest PowerTech, 2009.
- [7] Ч.Бадрах, “ДЦС-4-ын дотоод хэрэгцээний тоноглолын реле хамгаалалт, автоматикийн судалгаа ба тэдгээрийг боловсронгуй болгох нь”, магистрын ажил, 2015.

## МОНГОЛ УЛСЫН ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ СИСТЕМД НЭВТЭРСЭН АЧААЛАЛ ХӨНГӨЛӨХ АВТОМАТИК (АРОЛ)-ИЙН ТУРШИЛТ, СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН

Н.Буян-Өлзий<sup>1,2</sup>, Х.Эрдэмбилэг<sup>1,3</sup> Ба.Бат-Эрдэнэ<sup>1</sup>, М.Баттулга<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Цахилгаан техникийн салбар

<sup>2</sup> Монгол улс, Улаанбаатар, Диспетчерийн үндэсний төв ТӨХХК

<sup>3</sup> Монгол улс, Улаанбаатар, Эрчим хүчний хөгжлийн төв ТӨҮТ

[buyanaa0711@gmail.com](mailto:buyanaa0711@gmail.com), [ebe2425@gmail.com](mailto:ebe2425@gmail.com), [bat\\_erd@must.edu.mn](mailto:bat_erd@must.edu.mn), [battulga@must.edu.mn](mailto:battulga@must.edu.mn)

*Хураангуй*—Эрчим хүчний системийн үйл ажиллагаа тасралтгүй, найдвартай явагдах ёстой. Энэхүү зорилгыг биелүүлэхийн тулд аливаа аваарын үед аваари эсэргүүцэх автоматикүүдийг (АЭА) ашиглан аваарын дараах хүндрүүлсэн горимын үед үүсэж болох үр дагаврыг арилгаж улмаар ЭХС-ийг хэвийн горим буюу удаан хугацааны зөвшөөрөгдсөн горимд аль болох богино хугацаанд оруулдаг. Харин автоматикүүд нь үүргээ биелүүлэхийн тулд бодит хугацааны эгшинд хэмжилт хийж, үйлдлүүдээ гүйцэтгэх ба үүнд тогтворжсон болон шилжилтийн процессын үеийн горимын параметруудийн вектор утгыг цагийн синхрончлолтойгоор хэмжиж эрчим хүчний системийн хяналт удирдлагын системийг хэрэгжүүлэх тусгай зориулалтын хяналтын системийг ашигладаг. Бид энэхүү илтгэлдээ Монгол улсын эрчим хүчний систем (ЭХС)-д шинээр ашиглаж буй шилжилтийн горимын үеийн мониторингийн систем (WAMS)-ийн хүрээнд суурилуулсан ЭХС-ийн аваари эсэргүүцэх автоматикийн нэг болох шугамын ачаалал хөнгөлөх автоматик (АРОЛ)-ийн ажиллагааны онцлог, түүний ЭХС-д гүйцэтгэж байгаа үүргийг судласан ажлын үр дүнгийн тухай өгүүлнэ.

*Түлхүүр үг*—аваари эсэргүүцэх автоматик, WAProtector, WAMS, хяналт-удирдлагын систем, цахилгаан дамжуулах шугам.

### I. УДИРТГАЛ

Монгол улс төвийн бүсийн эрчим хүчний систем (ТЭХС) нь ОХУ-ын ЭХС-тэй 220 кВ-ын хүчдэлтэй хоёр хэлхээг цахилгаан дамжуулах агаарын шугам (ЦДАШ)-аар (диспетчерийн нэр нь АШ-257, 258) холбогдож зэрэгцээ ажилладаг. Энэхүү ЦДАШ нь ТЭХС-ийн их ачааллын үед цахилгаан эрчим хүч импортлох, бага ачааллын үед экспортлох буюу системийн горим тохируулга хийх онцгой ач холбогдолтой шугам юм. Жилээс жилд өсөн нэмэгдэж буй хэрэглээний чадлыг дотоодын эх үүсвэрээс хангах боломжгүй байгаа тул дээрх ЦДАШ-уудаар импортолж буй чадлыг нэмэгдүүлэх шаардлага бий болсон. Ингээд 2019-2020 оны өвлийн их ачааллын үед тухайн ЦДАШ-аар ОХУ-аас авах чадлын дээд хэмжээг 345 МВт болгох техникийн боломжийг хангахын тулд тус АШ-257, 258 дугаар ЦДАШ-ыг бодит чадлаар хэт ачаалагдах үед ачаалал хөнгөлөх автоматик (АРОЛ)-ийг ажилд оруулах шаардлага гарсан юм. Үүний тулд 220/110/35 кВ-ын Улаанбаатар, Дархан, Эрдэнэт, Чойр дэд станцууд болон Ил хуваарилах байгууламж-4 дээр “ДҮТ” ХХК-ийн инженер техникийн ажилтнуудын боловсруулсан WAMS системийг түшиглэн системийн автоматикийн нэмэлт төхөөрөмжүүдийг суурилуулсан [1]. Тухайн дэд станцууд дээрх АРОЛ автоматикаас цахилгаан дамжуулах агаарын шугамуудыг таслах хэлхээг бодит байдлаар ажиллуулан шалгаж, төлөв байдалд нь үнэлэлт өгсөн. Мөн WAMS-ын

WAProtector программ ашиглан АРОЛ автоматикаас ЦДАШ-ын реле хамгаалалтын мэдрэх эрхтэнд сигнал өгч, хамгаалалтыг ажиллуулан тасралтын үеийн бичлэг хийж, АПВ-д хориг хийгдэх логикуудыг оруулж АШ-257, 258 дугаар шугамыг тасалж АРОЛ-ын ажиллагааг шалгав.

### II. ШУГАМЫН ТАСРАЛТЫН ҮЕИЙН АЧААЛАЛ ХӨНГӨЛӨХ АВТОМАТИК (АРОЛ-АВТОМАТИКА РАЗГРУЗКИ ПРИ ОТКЛЮЧЕНИИ ЛИНИИ)-ИЙН ТУХАЙ

АРОЛ нь шугам зөвшөөрөгдөх утгаасаа хэт ачаалагдахад нэгдсэн сүлжээнээс хэрэглээг хязгаарлах зорилготой автоматик бөгөөд тогтворжилт алдагдахаас сэргийлэх автоматик (АПНУ-автоматическое предотвращение нарушения устойчивости)-ийн нэг хэсэг юм.

АПНУ нь ЭХС-д үүсэж болох бүхий л төрлийн аварийн горимын үед мэдээлэл хүлээн авах, боловсруулах, үйлдэл хийх гэсэн дараалал бүхий системийг тогтвортой авч үлдэх зорилготой алгоритмчлэгдсэн цогц систем юм.

Зураг 1-т харуулсны дагуу АРОЛ-ын хянах хэсэгт хөнгөлөх боломжтой хамгийн их чадлын ( $\Delta P_{max}$ ) утгыг дараах томъёогоор тодорхойлно [2]:

$$\Delta P_{max} = k_{U\uparrow} (P_{a.э.зөвш.max} - P_{a.д.зөвш.max}) \quad (1)$$

Үүнд:  $P_{a.э.зөвш.max}$ ,  $P_{a.д.зөвш.max}$  - аварийн өмнөх болон аварийн дараах хамгийн их зөвшөөрөгдөх чадлын урсгал,  $k_{U\uparrow}$  - горим

ажиллагаанаас хамаарсан коэффициент.  $k_{U1} = 1 \dots 1,05$  байна.

$$P_{a.э.зөвш.max} = (1 - k_{p.н.н})P_{a.э.хяз} - \Delta P_{HK} \quad (2)$$

$$P_{a.д.зөвш.max} = (1 - k_{p.в.н})P_{a.д.хяз} - \Delta P_{HK} \quad (3)$$

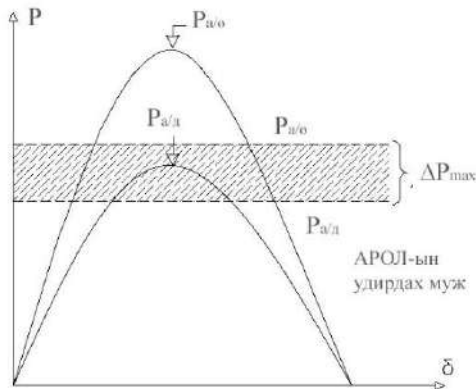
энд: “хяз” гэсэн индекс нь авч үзэж буй горим дахь идэвхтэй чадлын хязгаарыг заана.,  $k_{p.н.н} = 0,2$  - идэвхтэй чадлын хамгийн бага статик тогтвортой байдлын аюулгүйн коэффициент,  $k_{p.в.н} = 0,08$  - шугам тасрах үед аваарийн дараах статик тогтвортой байдлын норматив коэффициент [3].

$\Delta P_{HK}$  идэвхтэй чадлын тогтмол бус хэлбэлзлийн далайц (тогтмол бус хэлбэлзлийн нөлөөний хэсэг дэх урсгал нь одоогийнхоос  $\Delta P_{HK}$  - аар өөрчлөгддөг гэж үздэг) [4].

Идэвхтэй чадлын тогтмол бус хэлбэлзлийн далайцын утгыг хэмжилтийн өгөгдлийн дагуу эрчим хүчний системийн хэсэг (хэсэгчилсэн) тус бүрээр тогтооно. Ийм өгөгдөл байхгүй тохиолдолд хөндлөн огтлолын идэвхтэй чадлын тогтмол бус хэлбэлзлийн тооцоолсон далайцыг дараах илэрхийллээр тодорхойлж болно [5]:

$$\Delta P_{HK} = K \sqrt{\frac{P_{H1}P_{H2}}{P_{H1}+P_{H2}}} \quad (4)$$

энд:  $P_{H1}, P_{H2}$  нь авч үзсэн хэсгийн тал тус бүрийн нийт чадал, МВт;  $K$  нь хэсэг дэх эрчим хүчний урсгалыг зохицуулах аргыг харгалзан үзэх коэффициент (гар удирдлагад  $K = 1,5$ , автомат удирдлагад  $K = 0,75, \sqrt{\text{МВт}}$ ).



1-р зураг. АРОЛ-н ажиллах муж

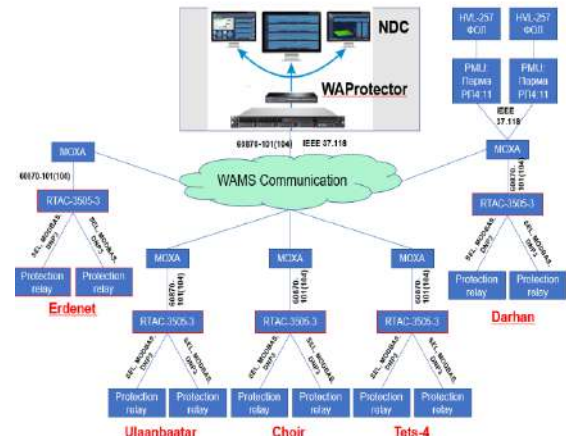
Нэгдсэн сүлжээнд зураг 2-т үзүүлсэн схемийн дагуу холбогдоно.



2-р зураг. Нэгдсэн сүлжээнд АРОЛ холбогдох схем

### III. АШ-257, 258 ЦДАШ-д АРОЛ АВТОМАТИК НЭВТЭРСЭН БАЙДАЛ

Монгол улсын цахилгаан эрчим хүчний системийг ОХУ-ын эрчим хүчний системтэй холбож буй АШ-257, 258 ЦДАШ-д суурилуулсан АРОЛ нь тус шугамаар авах импортын чадлын урсгалыг хянах, тооцсон тавилаас хэтэрсэн тохиолдолд 35 секундын хугацаанд нэгдсэн сүлжээнээс нийт 198,8 МВт актив чадлын хэрэглэгчийг хязгаарлан, таслаж ачаалал хөнгөлөх зориулалттай анх суурьлагдсан юм.

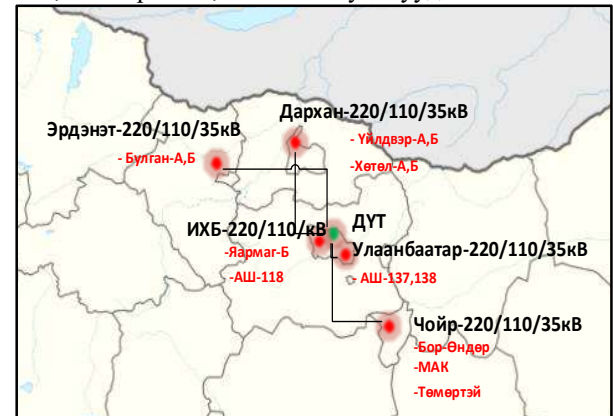


3-р зураг. АРОЛ автоматикийн ажиллагааны бүүдүүвч

АРОЛ-ын хязгаарлах чадлын хүрээнд нэгдсэн сүлжээний гуравдугаар зэрэглэлийн хэрэглэгчдийг багтаасан. Уг автоматик нь дохиолох болон таслах гэсэн хоёр шатлалаар ажиллах горимтой. Тус автоматикийг нэгдсэн сүлжээнд СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИЙН ПАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007- 33.040.20.204-2015 стандартын дагуу нэвтрүүлсэн.

#### А. АРОЛ-ийн хамрах хүрээ

Энэхүү АРОЛ-ийн хамрах хүрээнд Хангай бүсийн Булган А,Б, Төвийн бүсийн Үйлдвэр А,Б, Хөтөл А,Б, Зүүн өмнөд бүсийн Бор-Өндөр, МАК, Хараат, Улаанбаатарын бүсийн АШ-137,138 Яармаг Б, АШ-118 шугамууд багтана.



4-р зураг. АРОЛ-ын хамрах хүрээнд орсон шугамуудын газар зүйн байршил



**В. АРОЛ-ийн тавил**

АРОЛ-ийн тавилууд дараах байдлаар тооцоологдсон болно. Үүнд: импортоор авах чадлын хэмжээ 245 МВт байх үед:

- АШ-257, 258 залгаатай нөхцөлд 1-р шат буюу дохиолох тавил нь 245МВт, 2-р шат буюу ачаалал таслах тавил нь 260МВт;
- АШ-257 залгаатай, АШ-258 тасархай нөхцөлд 1-р шат буюу дохиолох тавил нь 180МВт, 2-р шат буюу ачаалал таслах тавил нь 200МВт;

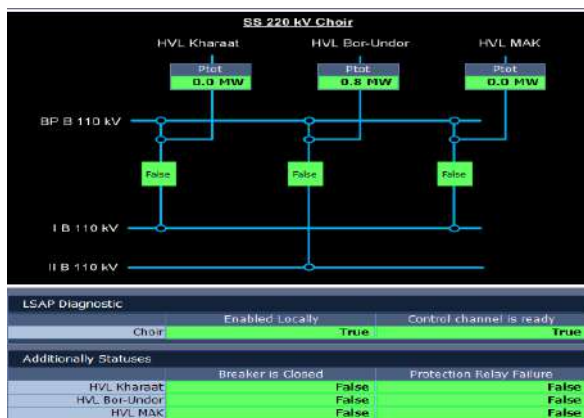
АШ-258 залгаатай АШ257 тасархай нөхцөлд 1-р шат буюу дохиолох тавил нь 180МВт, 2-р шат буюу ачаалал таслах тавил нь 200МВт.

1-р ХҮСНЭГТ. АРОЛ АВТОМАТИКИЙН ТАВИЛ  
(АНХНЫ ТӨЛӨВЛӨСӨН)

Д/д	Нөхцөл	1-р шат /дохиолол/	2-6-р шат /ачаалал таслах тавил/
1	257,258 залгаатай	279 МВт	310МВт
2	257 залгаатай 258 тасархай	211МВт	235МВт
3	258 залгаатай 257 тасархай	211МВт	235МВт

**С. АРОЛ-ын ажилласан байдал**

2021 онд АРОЛ нь нийт 6 удаа ажилласан байна. Одоогийн байдлаар буруу ажилласан тохиолдол бүртгэгдээгүй. Ажилласан байдлаас жишээ авахад: 2021 оны 10-р сарын 14-нд АРОЛ ажилласан. Тухайн үед нь ОХУ-аас импортоор 176,7МВт чадлыг авч байсан. Энэ үед ТЭЦ-4-ийн Рнийлбэр=595,9МВт байсан бөгөөд 20:04:00 цагт ТЭЦ-4-ийн ТГ№7 өдөөлтийн хамгаалалтаар зогссоноор ОХУ-аас авах импортын чадлын хэмжээ АРОЛ-ын таслах шат буюу 2-р шатны тавилд хүрч 260МВт болсноор АРОЛ-ын 2-р шатаар Зүүн өмнөд бүсийн 110кВ-ын Бор-Өндөр, Хараат, МАК шугамуудыг тасалсан.



5-р зураг. WAMS систем дээр Бор-Өндөр, Хараат, Мак шугамуудад таслалт хийсэн байдал

**IV. ОХУ-аас авах импортын ЦЭХ-ний хэмжээг 345 МВт болгосонтой холбоотой АРОЛ-ын тавилд оруулсан өөрчлөлт**

ОХУ-аас авах импортын ЦЭХ-ний хэмжээг 100МВт-аар нэмэхтэй холбоотой нэмэлтээр АДП-ийн тавил буюу 7-р тавилыг оруулсан. Энэ тавил нь Дархан талд импортоор авах актив чадлын хэмжээ 380МВт /Селендум талд 426МВт/ огцом хүрэхэд хугацааны барилтгүй 139МВт-ыг хөнгөлөх зориулалттай оруулсан шат юм.

2-р ХҮСНЭГТ. АРОЛ АВТОМАТИКИЙН ТАВИЛ  
(СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮНГЭЭС)

Д/д	Нөхцөл	1-р шат /дохиолол/	2-6-р шат /ачаалал таслах тавил/	7-р шат /ачаалал таслах тавил/
1	257,258 залгаатай	279 МВт	310МВт	380 МВт
2	257 залгаатай 258 тасархай	211МВт	235МВт	260 МВт
3	258 залгаатай 257 тасархай	211МВт	235МВт	260 МВт



6-р зураг. АРОЛ ажиллагааны үр дүн WAProtector дээр

Тавилын утгыг тооцохдоо томъёо (1)-ийн дагуу тооцсон ба  $\Delta P_{max}$  нь АШ-257, 258 залгаатай нөхцөлд 1-р шат буюу дохиолох тавил нь 279МВт, 2-6-р шат буюу ачаалал таслах тавил нь 310МВт, 7-р шат буюу ачаалал таслах тавил нь 380 МВт, 257 залгаатай 258 тасархай нөхцөлд 1-р шат буюу дохиолох тавил нь 211МВт, 2-р шат буюу ачаалал таслах тавил нь 235МВт, 7-р шат буюу ачаалал таслах тавил нь 260 МВт, мөн 258 залгаатай 257 тасархай нөхцөлд 1-р шат буюу дохиолох тавил нь 211МВт, 2-р шат буюу ачаалал таслах тавил нь 235МВт, 7-р шат буюу ачаалал таслах тавил нь 260 МВт болсон. 7-р шатны тавилын таслах бүсийн хувьд Хангайн бүсийн 110кВ-ын Булган А,Б агаарын мухар шугамыг 0,6сек-д 64,2 МВт ачаалал, Улаанбаатарын бүсийн 110кВ-ын АШ-137,138 Яармаг Б, АШ-ГЕО агаарын мухар шугамыг 0,6сек-д 75,4 МВт ачаалал, нийт 139,6МВт ачааллыг таслах.

### V. Дүгнэлт

Монгол улсын ЭХС-ийн чадлын дутагдлыг нөхөх зорилгоор ОХУ-ын импютын цахилгаан эрчим хүчийг нэмэгдүүлэхийн утлд АШ-257, 258 ЦДАШ-д ачаалал хөнгөлөх автамот болох АРОЛ-ыг нэврүүлсэн бөгөөд судалгаа, бодит туршилтын үр дүнгүүдээс харахад цаашид тус автамотикийн ажиллагааны хүрээнд дараах хүндрэлүүд үүсэж болзошгүй байна. Үүнд:

АШ-257, 258-ууд залгаатай, импортоор авах актив чадлын хэмжээ  $260\text{МВт} \leq$ , аль нэг шугам тасраад АПВ-аар залгагдах нөхцөлд 7-р шатны тавил 1 хэлхээт шугамын тавил руу шилжих  $/260\text{МВт}$ ,  $0,6\text{сек}$ / тул АПВ-ийн хугацааг харгалзахгүй  $130\text{-}150\text{МВт}$ -ын хязгаарлалт хийгдэх, харин дээрх нөхцөлд импортоор авах актив чадлын хэмжээ  $300\text{-}309\text{МВт}$ ,  $120\text{МВт}$ -ын 2 ба түүнээс дээш чадлын генератор сүлжээнээс тасрах нөхцөлд тухайн үеийн авч буй ачааллаас хамаарч Селендум талд АДП—ийн  $/426\text{МВт}/$  тавилаас гаргах боломжгүй нөхцөл үүсэх, мөн АШ-257, 258-ууд залгаатай импортоор авах актив чадлын хэмжээ  $300\text{-}309\text{МВт}$ , ИХБ-4 –д ДЗШ ажиллах нөхцөлд 2 генератор ачаалалгүй болсноор 1-р нөхцөл биелэх нөхцөл үүсэж болзошгүй харагдаж байна. Иймд цаашид эдгээр нөхцлийн үед авах арга хэмжээг боловсруулах шаардлагатай.

### VI. Ном зүй

- [1] WAMS танилцуулга – Ч.Амарсанаа, ДҮТ ХХК 2019, 31,33, 37-р хуудас
- [2] Осинцев А.А. Локальные устройства противоаварийной автоматике: учебно-методическое пособие / А.А. Осинцев. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. – 68 с. ISBN 978-5-7782-3838-1
- [3] ИЗВЕСТИЯ НТЦ ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ № 1 (72), Санкт-Петербург, 2015
- [4] Глускин И.З., Иофьев Б.И. Противоаварийная автоматика в энергосистемах. Т. II. М: «Знак», 2011. 528 хуудас.
- [5] Овчаренко Н.И. Автоматика энергосистем. Москва: Издательский дом МЭИ, 2009. 476 хуудас
- [6] Ефремова И.Ю., Ефремов Д.Г., Глускин И.З. Пусковой орган противоаварийной автоматике по углу, выявление места и величины небаланса мощности в энергосистеме // Двенадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых "Энергия-2017", 2017. pp. 107-109.
- [7] АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ». СТО 59012820.29.020.002-2017. «Релейная защита и автоматика. Автоматическое

- противоаварийное управление режимами энергосистем. Устройства автоматике разгрузки при перегрузке по мощности. Нормы и требования». Москва. 2017. 26 с.
- Глускин И.З., Иофьев Б.И. Противоаварийная автоматика в энергосистемах. Т. I. М: «Знак», 2009. 568 с.
- [8] Глускин И.З., Иофьев Б.И. Противоаварийная автоматика в энергосистемах. Т. II. М: «Знак», 2011 .хуудас 528
- [9] Жуков В.А., Герасимов А.С., Бердин А.С., Бородин А.С. Базовые пусковые органы для систем централизованной противоаварийной автоматике и систем управления электромеханическими переходными процессами на основе синхронной регистрации параметров электрического режима // Сборник докладов XXI конференции Релейная защита и автоматика энергосистем, 2012. Хуудас 257-262.
- [10] <https://studfile.net/preview/2662579/page:2/>
- [11] <http://rzia.ru/topic5685-vopros-po-arol.html>
- [12] [ru.wikipedia.org](http://ru.wikipedia.org)

## ДУЛААНЫ ШУГАМЫН АЛДАГДАЛ, ДУЛААЛГЫН ЧАНАРЫН СУДАЛГАА

Э.Чанцалдулам<sup>1</sup>, Д.Цэрэндолгор<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Дулааны инженерийн салбар  
[chantsal.erdenechuluun@gmail.com](mailto:chantsal.erdenechuluun@gmail.com)

**Хураангуй**–Улаанбаатар хотын дулааны шугам сүлжээний 20 орчим хувь нь насжилтын хугацаа дууссан тул тэдгээрийг бүрэн нэг дор сольж, шинэчлэх нь эдийн засаг болон цаг хугацааны хувьд ихээхэн хүндрэлтэй учир богино хугацаанд шийдэж шинэчлэх боломжгүй байдаг. Тиймээс дулааны алдагдал болон дулаан зөөгчийн алдагдал эрс ихэсдэг нь манай салбарын аюулгүй ажиллагаа, найдвартай, тасралтгүй дулаанаар хангах явцад үргэлж тулгамдсан асуудал байсаар ирсэн билээ. Дэвшилтэт технологи хурдацтай хөгжиж байгаа өнөө үед эрчим хүчний салбарт хүндрэлтэй асуудлуудыг хурдацтай, аюулгүйгээр шууд хянаж шалган түргэн шуурхай асуудлыг цаг алдалгүй шийдвэрлэх боломжтой болоод байна. Манай орны хүйтний улирал болон оргил ачааллын үед гэмтэл гарах тохиолдолд сүүлийн жилүүдэд харьцангуй ихэссээр байна. Энэ үед хүндрэлтэй хэсгийг агаараас дроны тусламжтайгаар дулааны камер ашиглан хурдан хугацаанд гэмтлийг илрүүлэхэд хялбар болох тул дулааны шугамд шалгалт үзлэг хийж, дулааны алдагдалтай хэсгийг цаг алдалгүй шуурхай илрүүлэх боломжийг уг судалгааны ажлаар судлав. Мөн дулаан тусгаарлагч материалын норм стандарт шаардлагыг хангасан материалыг судлан, дулаалах тохиолдолд дулааны алдагдлыг хэдэн хувь хэмнэх боломжтойг судалж үзэв.

**Түлхүүр үг**–*Пенополиуретан, дулааны эсэргүүцэл, дулаан тусгааралчгийн хийц, дулаан тусгаарлагчийн зузаан.*

### I. УДИРТГАЛ

Сүүлийн жилүүдэд Монгол улсад барилгажилт, тэр дундаа орон сууцны барилга эрчимтэй баригдаж буйтай холбогдон төвлөрсөн дулаан хангамжийн системийн эх үүсгүүр, шугам сүлжээ хүрэлцэхгүй дутагдалд орсон хэвээр байна. Тиймээс манай эрчим хүчний салбарын тулгамдсан зорилтуудын нэг нь түгээх сүлжээн дэх дулаан алдагдлыг бууруулах юм. Дулааны шугам сүлжээ нь ашиглалтын урт хугацааны явцад шугамын дулаалга элэгдэж муудан, гэмтэл болон байгалийн нөлөөнөөс хамааран техникийн шаардлага хангахгүй болсноос үүдэн дулааны алдагдал тооцоот утгаас эрс нэмэгдэж байна. Дулаан зөөгчийг тээвэрлэхэд алдагдах алдагдал нь дулааны үнэ тарифад чухал ач холбогдолтой. Иймд дулаан дамжуулах хоолойн дулаан тусгаарлагчаар алдагдах дулааны алдагдлыг тодорхойлж, алдагдлын шалтгааныг илрүүлэн цаашид ашиглагдах дулаан тусгаарлагчийн чанарын шаардлагыг сайжруулахад энэхүү судалгааны гол зорилго оршино.

### II. ОНОЛЫН ХЭСЭГ

Одоогоор дулааны шугам сүлжээний дулаалгыг гурван төрлийн хийцийг голчлон ашиглаж байна. Үүнд:

- Асбесто, цементэн шавардлагатай шилэн хөвөн дулаалга
- Хуудсан нимгэн төмөр, шилэн даавуугаар 1-2 давхар ороосон хагас цилиндр хэлбэрийн хэвлэмэл пенополиуретан
- Үйлвэрийн аргаар хийгдсэн урьдчилсан дулаалгатай /өндөр нягттай пенополиуретан дулаалга /

Дулаан тусгаарлах хийц нь ашиглалтын үед тоног төхөөрөмж ба дамжуулах хоолойн дулааны алдагдлыг нормчилсон хэмжээнд байлгах, ашиглалтын үеийн дулаан ба хүйтэн зөөх биеийн шаардлагат үзүүлэлт, гадна гадаргуугийн температур хүний биед аюулгүй байх нөхцөлийг хангасан байх ёстой. Одоо ашиглагдаж байгаа шугамын ангилалыг УБДС-ээс авсан мэдээлэлээр:

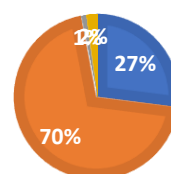
ОДОО АШИГЛАГДАЖ БАЙГАА ДУЛААНЫ ШУГАМЫН ДУЛААЛГЫН АНГИЛАЛ



1-р зураг. Одоо ашиглагдаж байгаа дулаалгын ангилал

СУВГИЙН ТӨРӨЛ

■ Ил шугам ■ Сувагт ■ Хонгилд ■ Суваггүй



2-р зураг. Одоо ашиглагдаж байгаа шугамын ангилал

Дулаан тусгаарлах материалыг дулаан нэвтрүүлэлтээс нь хамааруулан 3 ангилдаг. Үүнд:

1. дулаан нэвтрүүлэлт багатай дулаан тусгаарлах хийцийн дундаж температур 25°C байхад дулаан нэвтрүүлэлтийн коэффициент  $\lambda$  нь 0.06Вт/(м.°C) хүртэл, 125°C байхад дулаан нэвтрүүлэлтийн коэффициент  $\lambda$  нь 0.08Вт/( м.°C)-аас ихгүй.
2. дундаж дулаан нэвтрүүлэлттэй -25°C байхад дулаан нэвтрүүлэлтийн коэффициент  $\lambda$  нь 0,06...0,115Вт/(м.°C) хүртэл, 125°C байхад дулаан нэвтрүүлэлтийн коэффициент  $\lambda$  нь 0,08...0,14Вт/(м.°C)
3. өндөр дулаан нэвтрүүлэлттэй -25°C байхад дулаан нэвтрүүлэлтийн коэффициент  $\lambda$  нь 0,115...0,17Вт/(м.°C) хүртэл, 125°C байхад дулаан нэвтрүүлэлтийн коэффициент  $\lambda$  нь 0,14...0,21Вт/(м.°C)

A. Дулаалгын хийц, материалд тавигдах шаардлага:

- a) -Дулаалах гадаргуугийн температур, дулаалах гадаргуугийн зөвшөөрөгдөх
- b) -Дулаан тусгаарлах хийцийн эдэлгээний хугацаа, дулаан зөөгчийн ажлын температур
- c) -Дулаан дамжуулах чадвар, дулаалах гадаргуугийн температурын хэв гажилт
- d) -Дулаалах гадаргуугийн хэлбэр ба хэмжээ, угсралтын нөхцөлүүд
- e) -Галд тэсвэржилт
- f) -Чийг, ус даах чадвар
- g) -Бат бэх чанар ба хийц
- h) Дээрх үзүүлэлтээс гадна дулаалах гадаргуугийн хамгийн өндөр температурын үед хэлбэр хэмжээгээ хадгалах чадвар чухал үзүүлэлт юм.

**B. 2.2 Шугам хоолойн дулааны алдагдал**

Энэхүү арга нь ашиглагдаж буй дулааны шугамуудын дулаалгын материал, түүний үе давхаргын зузааныг хэмжиж улмаар дулааны эсэргүүцлийн утгыг тогтоох, тогтоосон эсэргүүцлийн утгаа ашиглан шугамын дулааны хувийн алдагдлыг тооцох оршино. Дулааны шугамын ямар нэг хэсгийн дулаалгын эсэргүүцлийг хэмжилт тооцооны аргаар тогтоож түүний утгыг ашиглан сүлжээний усны ба гадна агаарын температурын янз бүрийн утгуудад дулааны алдагдлыг тооцох боломжтой болно. Дулаан шугамын тухайн нэг хэсгийн хувьд дулаан тусгаарлагчийн дулааны эсэргүүцэл R бараг тогтмол хэмжигдэхүүн.

Дулаалгатай шугам хоолойгоор нэгж хугацаанд алдагдах дулаан:

$$\Delta Q = q * l * \frac{l-t}{R} * l \quad (2.1)$$

энд: q- нэг метр урттай хоолойгоор нэгж хугацаанд алдагдах дулаан, Вт/м; R-дулаалгатай хоолойн дулааны нийлбэр эсэргүүцэл, м2\*К/Вт; t-

дулаан зөөгч биеийн температур, °C; t<sub>o</sub>-орчны агаарын температур, °C;

Дулаалгатай шугамаар тээвэрлэгдэж буй дулаан зөөгч биеэс дулаан, дараалсан дөрвөн эсэргүүцлээр дамжин гадна орчин руу шилжинэ. Дулаалгатай хоолойн эсэргүүцэл:

$$R = R_{x.g} + R_{d.d} + R_{g.g} \quad (2.2)$$

энд: R<sub>x.g</sub>-хоолойн дотор гадаргуугийн дулааны эсэргүүцэл; R<sub>d.d</sub>-дулаалгын үе давхрагын эсэргүүцэл; R<sub>g.g</sub>-дулаалгын гадна гадаргуугийн дулааны эсэргүүцэл;

Дээрх дулааны эсэргүүцлүүдээс хамгийн нөлөөтэй нь дулаалгын үе давхрагын эсэргүүцэл юм. Хоолойн нийт дулааны эсэргүүцлийг хоёр бүлэгт хувааж болно.

- Гадаргуугийн эсэргүүцэл;
- Үе давхрагын эсэргүүцэл;

Хоолойн гадаргуугийн дулааны эсэргүүцлийг дараах томъёогоор олно.

$$R = \frac{1}{\pi d \alpha} \quad (2.3)$$

энд: α-гадаргуугийн дулаан өгөлтийн коэффициент;

d-хоолойн гадаад диаметр, м.

Цилиндр хананы үе давхаргын дулааны эсэргүүцэл;

$$R = \frac{1}{2\pi \lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} \quad (2.4)$$

энд: λ-давхаргын дулаан нэвтрүүлэлтийн коэффициент, Вт/м\*°C; d<sub>2</sub>/d<sub>1</sub>-давхаргын гадаад болон дотоод диаметр, м.

Агаараар сунгасан дулаалгатай нэг метр урт шугамын дулааны эсэргүүцэл:

$$R = R_{d.g} + R_{x.d} + R_{g.g} + R_{d.y} \quad (2.5)$$

энд: R<sub>g.g</sub>, R<sub>x.d</sub>- хоолойн дотоод гадаргуу ба хананы дулааны эсэргүүцэл; R<sub>g.g</sub>+R<sub>d.y</sub> – дулаалгын үе ба гадна гадаргуугийн дулааны эсэргүүцэл.

Эдгээр дараалсан дөрвөн эсэргүүцлээс эхний хоёр нь нөлөө маш бага учир инженерийн тооцоонд тусгахгүй байж болно [4]. Тэгтэл дулааны эсэргүүцэл;

$$R = R_{g.g} + R_{d.y} \quad (2.6)$$

Шугамын дулаалгын үеийн дулааны эсэргүүцэл:

$$R = \sum_{i=0}^n \frac{1}{2\pi \lambda} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} \quad (2.7)$$

энд: λ-дулаалгын I үеийн дулаан нэвтрүүлэлтийн коэффициент, Вт/м\*°C; d<sub>i+1</sub>/d<sub>i</sub>-дулаалгын I үеийн гадаад болон дотоод диаметр, м.

Дулаалгатай цилиндр хоолойн гадна гадаргуугийн дулааны эсэргүүцэл:

$$R_6 = \frac{1}{\pi * d_6 * \alpha} \quad (2.8)$$

энд: α-дулаалгын гадаргуугаас орчинд өгөх дулаан өгөлтийн коэффициент; Вт/м2\*°C; d<sub>6</sub>-дулаалгын үеийн гадаад диаметр,м

Дулаан өгөлтийн коэффициент:

$$\alpha_{т.а} = \alpha_{л} + \alpha_{к} \text{ буюу } \alpha_{г} = 11.6 + 7\sqrt{\omega} \quad (2.9)$$

Үүнд: ω -салхины хурд, км/цаг.

Ачаалал ихтэй урт үргэлжлэх дулааны шугамын температурын алдагдал харьцангуй их

байх ба ийм тохиолдолд дулаан зөөгчийн температурын уналт анхны утгаас 5%-с илүүтэй буурч болохгүй. Уур дамжуулах шугамын хувьд дулаан зөөгчийн температурын уналт нь конденсат үүсэх аюултай.

### III. СУДАЛГААНЫ ХЭСЭГ

Энэхүү туршилт судалгааны ажлын хүрээнд УБ хотын 5а магистраль болох Ф800 мм-ийн диаметртай, шилэн хөвөн, тор, асбест цементэн дулаалгатай 1969 оноос хойш ашиглагдаж байгаа ил шугамыг сонгон авсан болно.

Дулааны алдагдлын туршилтыг дулааны камертай MAVIC 2 дроноор хийсэн бөгөөд 11-22 м-ийн өндрөөс дулааны камераар бичлэг хийн нийт 2428 м урт шугамын температурыг дулааны камер ашиглан хэмжиж дулаан алдагдлыг тооцсон болно. Хэмжилтэнд ашигласан хэмжих хэрэгсэл:

#### M2EA Thermal Camera

Sensor	Uncooled VOx Microbolometer
Focal Length	Approx. 9mm 35 mm format equivalent: Approx. 38mm
Sensor Resolution	640x512 @30Hz
Accuracy of Thermal Temperature	Measurement: $\pm 2^{\circ}\text{C}$ or $\pm 2\%$ , whichever is greater.
Scene Range	-40 $^{\circ}\text{C}$ to 150 $^{\circ}\text{C}$ (High Gain) -40 $^{\circ}\text{C}$ to 550 $^{\circ}\text{C}$ (Low Gain)
Digital Zoom	16x
Pixel Pitch	12 $\mu\text{m}$
Spectral Band	8-14 $\mu\text{m}$
Photo Format	R-JPEG
Video Format	MP4
Metering Method	Spot Meter, Area Measurement
FFC	Auto/Manual

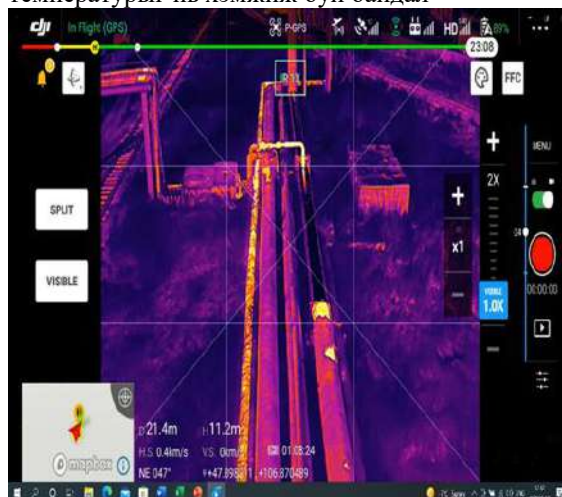


3.2-р зураг. Дулааны камертай дрон MAVIC 2

Туршилтын хэсэг болгон сонгон авсан 5а магистраль нь 5 м өндөрт холбогдсон шугам тул байнгын үзлэг үйлчилгээ, засвар хийхэд төвөгтэй газарт байрласан байсан учраас уг судалгааны ажлаар дрон ашиглан дулааны камерын бичилт хийж үр дүнд тулгуурлан анализ хийсэн болно.



3.3-р зураг. Шугамын дулааны тархалтыг хэмжихэд дулаалга нь элэгдэлд орсон хэсэг дээр температурыг нь хэмжиж буй байдал



3.4-р зураг. Шугамын дулаалга хэсэг газартаа байхгүй байгааг харуулж байна.

Одоо байгаа шилэн хөвөн асбесто дулаалгын ХЭМЖИЛТ:



3.5-р зураг. Одоо байгаа дулаалгын зузааныг хэмжиж буй байдал



3.6-р зураг. Одоо байгаа дулаалгын задарч хагарсан байдал

5а магистрaлийн Ф800мм-ийн диаметртэй шугам хоолойг эрдэс хөвөнгөөр дээрээс нь төмөр тороор ороож азбест цементэн зуурмагаар шавж өнгөлжээ. Уг шугам нь 1969 онд ашиглалтанд орсон ба одоог хүртэл ашиглагдаж байгаа юм.



3.7-р зураг. Шугамын дулаалгын элэгдсэн байдал

Дулааны камераар хэмжилт хийх явцад ихэнх хэсгийн дулаалга нь хагарч задарсан, дулаалгын амсраараа ангайсан, засвар үйлчилгээ хийсэн хэсэг нь дулаалгагүй болсон байсан.



1-Р ХҮСНЭГТ. ДУЛААЛГЫН ЗУЗААНААС ХАМААРСАН ҮР ДҮН

Гадна байрлах нэмэх температуртай дамжуулах хоолойн дулаан тусгаарлах хийцийн зузаан								
Газар дээр ил								
Хоолойн диаметр, мм	Гол үг	Дулааны урсгалын нягт, Вт/м			Дулаалгын материалын зузаан, мм			
		Нормоор	Шилэн хөвөн	Пенополиуретан	Базальт хөвөн	Азбест цемент	Пенополиуретан	Шилэн хөвөн
	тооцоогоор	тооцоогоор	тооцоогоор					
800	83	78.44	82.8	78.02	10	100	140	150

2-Р ХҮСНЭГТ. ТЕМПЕРАТУРААС ХАМААРСАН ҮР ДҮН

Хоолойн диаметр, мм	Сүлжээний усны температур				1км шугам дахь температурын бууралт	
	Эхлэл		Төгсгөл		Эхлэл	Төгсгөл
	Өгөх	Буцах	Өгөх	Буцах	Өгөх	Буцах
800	116.5	57.63	105.34	61.21	1.25	0.4

3-Р ХҮСНЭГТ. ТУРШИЛТААС ГАРСАН ДУЛААНЫ АЛДАГДАЛ

Хоолойн диаметр, мм	Дулааны алдагдал, Вт/м	Дулааны бодит алдагдал, Вт/м	Зөрүү, %
800	360.2	303.67	1.19
	214.9	207	1.2

4-Р ХҮСНЭГТ. ХАРЬЦУУЛАЛТ

Дулаан тусгаарлагч	Дундаж нягт, (кг/м <sup>3</sup> )	Дулаан коэффициент (Вт/м·К)	Ашиглалтын хугацаа	Ажлын t <sup>o</sup>
Пенополиуретан	40-160	0.019-0.040	30	-150...+150
Эрдэс хөвөн	55-150	0.052-0.058	3	40...+350

Ф800 мм-ийн шугамд 2,1-2,3 км тутам 1,2-1,5°C уналттайгаар эцсийн хэрэглэгч дээр температурын бууралт 8,4% байна.

IV. ҮР ДҮН

Хуучирсан эрдэст хөвөн азбестэн дулаалга нь туршилтаас авсан тооцооны утгаар дулааны бодит алдагдал болон эхлэл, төгсгөлийн цэгийн температурын зөрүүнээс үүдэн дамжуулах

шугамын дулааны алдагдал 1.19-1.2% байна. Иймд манай орны нөхцөлд хамгийн тохиромжтой орлуулж болох дулаалга нь пенополиуретан юм.

Эрдэст хөвөн дулаалгыг пенополиуретан дулаалгатай дулаан тусгаарлагч болон ТЭЗҮ-ийг хүснэгт 5 – д үзүүлэв.

**ХҮСНЭГТ 5. ДУЛААЛГЫН ТЕХНИКИЙН ҮЗҮҮЛЭЛТИЙН ХАРЬЦУУЛАЛТ**

Үзүүлэлт	Пенополиуретан	Эрдэс хөвөн
Дул. Дам.коэф (Вт/м*К)	0.019-0.040	0.052-0.058
Гадаргуун зузаан	35-70мм	120-220мм
Хэрэглэх боломж	Олон удаагийн	Нэг удаагийн
Ашиглалтын хугацаа	25-30 жил	3жил ашигласны дараа шинж чанар муудна.
Ашиглалтын хугацаа	бүтэн жил	Дулаан хуурай цагт
Чийглэг орчин	тогтворгүй	Шинж чанар алдагдаж дахин сэргэдэггүй.
Байгаль орчин	сөрөг нөлөөгүй	Харшил өгөх
Ажлын температур	-150.....+150	350
Үйлдвэрлэл	100-400м2	20-50м2
Бодит дулааны алдагдал	Норм стандартаас 1.7 дахин бага	6 сар ашигласны дараа стандарт нормоос хэтэрдэг.
Эдийн засаг	30% хэмнэнэ.	

Дулаалгын материалын анхны хөрөнгө оруулалтын оновчлолын асуудал чухал тул түүнийг олон талаас нь харж сонгох нь зүйтэй юм.

5 дугаар хүснэгтээс харвал манай орны нөхцөлд пенополиуретан нь олон талаараа давуу болохыг харуулж байна.

## V. ДҮГНЭЛТ

Дулааны эрчим хүчний тээвэрлэлтийн үр ашгийн нэг гол үзүүлэлт болох шугам хоолойн дулааны бодит алдагдлыг ашиглалтын нөхцөлд тодорхойлж дулааны алдагдлын үнэлгээ өгөх, сүлжээний дулааны алдагдлыг бууруулах арга зам болон стандарт хангасан ямар дулаалга нь зохимжтой вэ гэдэг талаас судлахад дараах хүчин зүйлүүд нөлөөлж байна. Үүнд:

- дулаалгын насжилт өндөрсөж материалын сийрэгжилт үүссэн.
- шинээр хийж буй дулаалгын материал нь чанарын стандарт хангадаггүй.(ямар нэг шинээр хийгдэж муй материалтай харьцуулж үзээгүй болохоор энэ өгүүлбэрийг оруулаад хэрэггүй байх)
- шугам хоолойд засвар үйлчилгээ хийсний дараа дулаалгыг сэргээдэггүй.
- хөрсний ус болон шугам, тоноглолын гэмтлээс шалтгаалан дулаалга усанд автаж чанараа алддаг.

- шинээр хийх гэж буй дулаалгын материалын нягт үзүүлэлт дээр анхаарч стандартад нийцсэн нягтын материал сонгоход анхаарах хийлгүүлэх.
- түвэгтэй хийцтэй системийг дулаалах боломжтой байх
- угсралтын энгийн шийдэл, зай засваргүй дулаалах боломжтой байх
- дулаан дамжуулалтын илтгэлцүүрийг лабораторид өгч шинжлүүлэн MNS 3442:2002 стандартыг хангаж байгааг шалгах
- хэв гажилт үзүүлэх MNS ISO 29469:2010 стандартыг хангасан эсэхийг шалгах
- ус шингээлтийн EN 1609:2001 стандартыг хангасан эсэхийг шалгах
- метал хийцийг зэврүүлэх бодис өөрийн бүтэцдээ агуулаагүй байх
- өндөр температурт (гал) үйлчлэх үед хортой бодис ялгаруулахгүй байх
- харьцангуй өндөрт байрласан шугам хоолойг байнгын үзлэгт хамруулан урьдчилан сэргийлэн засвар үйлчилгээ хийсэн тохиолдолд стандарт нормын дагуу дахин дулаалах
- шугам хоолойн эргэлтийн өнцөг, тоноглолын хэсэгт хялбар аргаар хийх боломжтой байх гэх зэрэг чанарын шаарлагыг хангасан дулаалгаар үе шаттайгаар шинэчлээгүй шугамыг сольж шинэчилж эрчим хүчний хэмнэлтийг хийх нь оновчтой ажил юм.

Мөн гадуураа гөлмөн төмөр болон, шилэн даавуутай пенополиуретан дулаалга хийх боломж судалгааг үргэлжлүүлэн хийж байна.

## VI. НОМ ЗҮЙ

- [1]. БНБД 41-04-13 Тоног төхөөрөмж ба дамжуулах хоолойн дулаан тусгаарлалт 2013он
- [2]. БНБД 23-02-09 Дулааны ачаалал
- [3]. БНБД 3.05.03-95 Дулааны шугам сүлжээ
- [4]. Б.Намхайням “Дулаан хангамжийн систем” УБ, 2015он, (Гурав дахь хэвлэл)
- [5]. Д. Дашжамц “Шинжлэх ухааны судалгааны ажлын онол-арга зүйн үндэс” УБ, 2017он
- [6]. Стандарт хэмжилзүйн үндэсний төв “Дулаан дамжуулах хоолойн дулаан тусгаарлалтын хөөсөн полиуретан бүрхүүл MNS 5352:2004 2004 он
- [7]. Инженерийн лавлах (боть – I), (Хүрээлэн буй орчны салбар), УБ 2014 он, 595х (106-107х)
- [8]. ШУТИС, ЭХС “УБ хотын дулааны шугам сүлжээний дулааны бодит алдагдлыг тодорхойлох, үнэлгээ өгөх” туршилт судалгааны тайлан 2002он
- [9]. СНиП 41-03-2003 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов / Строительные нормы и правила Российской Федерации, издание официальное. М. ФГУП ЦПП Госстроя России, 2004.26с

- [10]. СНиП 2.04.14-88 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. М. ЦИТП Госстроя РФ, 1989.-32с
- [11]. Методика определения тепловых потерь в действующих водяных тепловых сетях. М.СЦНТИ. 1970.-39с
- [12]. European Standart EN-253. District Heating Pipes- Preinsulated Bonded Pipe Systems for Directly Buried How Water Networks Pipe Assembly of Steel Service Pipe, Polyurethane Thermal Insulation and Outer Casing of Polyethylene.
- [13]. Thermal insulation- Determination of steady-state thermal transmission properties of thermal insulation for circular pipes (ISO 8497: 1994)
- [14]. EN ISO 8497:1996
- [15]. <http://www.parametr.mn>



## “САЛХИТ” САЛХИН ЦАХИЛГААН СТАНЦЫН РЕЛЕ ХАМГААЛАЛТЫН СУДАЛГАА, САЙЖРУУЛАХ АРГА ЗАМ

П.Энхтөр<sup>1</sup>, Ч.Нацагдорж<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Цахилгааны инженерийн салбар  
[Enkhtur8959@gmail.com](mailto:Enkhtur8959@gmail.com) , [natsag@must.edu.mn](mailto:natsag@must.edu.mn)

*Хураангуй*–2004 оноос хойш Төв аймгийн Сэргэлэн сумаас зүүн урд зүгт 8км зайд Хоолтын давааны салбар уулс болон Шар хөвийн нуруу дээр буюу Салхит уул хэмээх газар одоогийн “Салхит” салхин цахилгаан станцын төсөл эхэлсэн. 50м-ийн өндөртэй цаг уурын 3-5 станц тасралтгүй 8 жилийн хэмжилтийн үр дүнд салхины нөөцийг тодорхойлон 2011 онд салхин станц барих ажил эхлэн 2013 онд “Салхит” салхин цахилгаан станц ашиглалтанд ороод өдийг хүртэл ажиллаж байна. Жилдээ дунджаар 140-170 сая кВт.ц эрчим хүч үйлдвэрлэж төвийн бүсийн нэгдсэн сүлжээнд нийлүүлэх ба энэ нь төвийн бүсийн эрчим хүчний хэрэглээний 4-5% буюу ойролцоогоор 100,000 гаруй айл өрхийн жилийн цахилгааны хэрэглээг ханган ажиллаж байна. Өгүүлэлд “Салхит” салхин цахилгаан станцын салхин турбин, дэд станцын 35 кВ-н хуваарилах байгууламжийн хүчний болон удирдлагын тоног төхөөрөмжүүдийн үйл ажиллагаа, ашиглалтын үед 35 кВ-н хуваарилах байгууламж дээр зарим нэг горим, шилжилтийн процессын үед реле хамгаалалт, автоматикийн төхөөрөмжүүдийн үйл ажиллагаанд гарсан доголдол, дутагдлыг сайжруулах арга замуудын талаар, мөн РХА-н зарим нэг өөрчлөлт, шинэчлэлт болон тэдгээртэй холбоотой хэмжилт, туршилтын зарим үр дүнгийн талаар авч үзсэн болно.

*Түлхүүр үг*–Салхин турбин генератор, дээд гармоник, газардлагын хамгаалалт, цэвэр эрчим хүч.

### I. УДИРТГАЛ

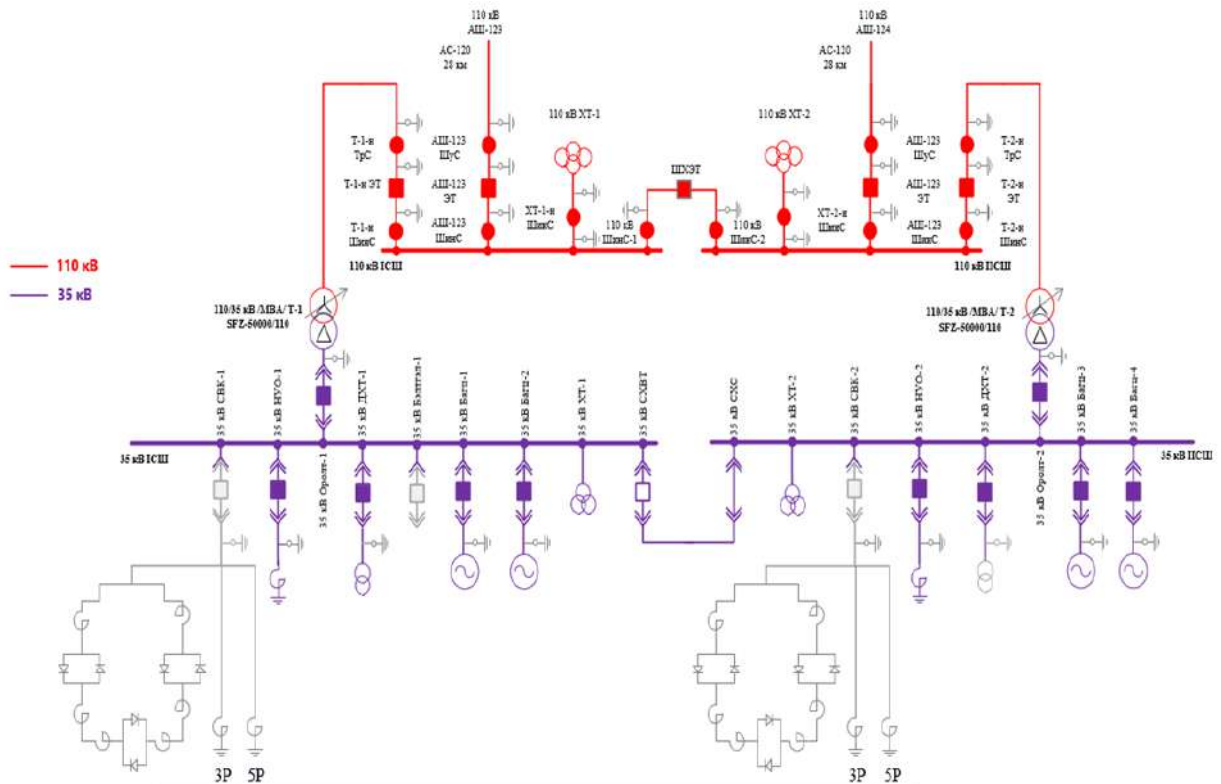
Цахилгаан эрчим хүч гарган авах хамгийн цэвэр, байгальд ээлтэй, хүн төрөлхтний өсөн нэмэгдэж буй хэрэглээг хангах хэзээ ч шавхагддаггүй нөөц бол сэргээгдэх эрчим хүч юм. Сүүлийн жилүүдэд хурдацтай өсөж буй сэргээгдэх эрчим хүчний үүсвэрийн нэг бол салхины эрчим хүч бөгөөд 2018 онд дэлхий даяар нийт суурилагдсан эрчим хүч нь 591ГВт болсон нь 2017онтой харьцуулахад 9.6%-иар өссөн [6]. Жил бүр дэлхий даяар салхин станцын суурилагдаж буй чадал 10%-иар өсч байгаа нь дэлхийн нийт эрчим хүчний хэрэглээний 4.8%-ийг [9], Европын холбооны улсуудын ЦЭХ-ний хэрэглээний 14%-ийг салхины эрчим хүчээр хангаж байна [4]. Өгүүлэлд “Салхит” салхин цахилгаан станцын (СЦС) салхин турбин, дэд станцын 35 кВ-н хуваарилах байгууламжийн хүчний болон удирдлагын тоног төхөөрөмжүүдийн үйл ажиллагаа, ашиглалтын үед 35 кВ-н хуваарилах байгууламж дээр зарим нэг горим, шилжилтийн процессын үед реле хамгаалалт автоматикийн (РХА) төхөөрөмжүүдийн үйл ажиллагаанд гарсан

доголдол, дутагдлыг сайжруулах арга замуудын талаар, мөн РХА-н зарим нэг өөрчлөлт, шинэчлэлт болон тэдгээртэй холбоотой хэмжилт, туршилтын зарим үр дүнгийн талаар авч үзсэн болно.

“Салхит” СЦС нь:

1. 1.6МВт чадалтай GE 1.6-82.5x1e загварын 31 СЦҮ (салхин цахилгаан үүсгүүр),
2. 24 км урт 35 кВ-ын кабель сүлжээ,
3. 2x50 МВА хүчин чадал бүхий трансформатортай,
4. Статик Вар Компенсатор (СВК)
5. Нум унтраах ороомог (НУО)
6. Дотоод хэрэгцээний трансформатор (ДХТ) 800кВА
7. 28 км урт 110 кВ-ын хоёр хэлхээт өндөр хүчдэлийн цахилгаан дамжуулах агаарын шугамаас бүрдэнэ.

1-р зурагт 110/35кВ-ын Салхит дэд станцын анхдагч схем зургийг үзүүлэв.



1-р зураг. 110/35кВ-ын Салхит дэд станцын анхдагч схем

Фазын ротортой асинхрон генераторын статороос 690В-ийн 50 гц-ийн давтамжтай хувьсах хүчдэл гарна. 690В-ийн хүчдэл киоск трансформатор дээр 35кВ хүртэл өсгөгдөнө. Тус бүр 7-8 ширхэг генератор нэг багц хэлхээ болж нэгдэн нийт 4 багц болж холбогдоно. Багц-1,2 нь 35 кВ-ийн I секц дээр, Багц-3,4 нь 35 кВ-ийн II секц дээр холбогдох ба секц бүр дээр дээд гармоникүүдийг шүүх, хүчдлийн синуслэг хэлбэрийг сайжруулах, хүчдлийн тохиргоо хийх, чадлын коэффициентийг нэмэгдүүлэх, хуурмаг чадлыг компенсацилах зориулалттай Статик Вар компенсатор (СВК) холбогдоно. СВК нь Тиристорын удирдлагатай реактор болон Конденсаторын шүүлтүүр буюу гармоник шүүгчээс бүрдэнэ (FC). FC-н бүрдэл хэсэг нь 3 болон 5-р гармоникийн шүүлтүүрүүдээс бүрдэнэ [11]. Мөн секц тус бүрт 35 кВ-ийн кабель шугамын газардлагын гүйдлийг багасгахын тулд НУО-г 35кВ талдаа зигзаг холболтоор саармаг цэг үүсгэгч трансформаторыг холбож өгсөн [12]. 35/0.4 кВ-н 800кВА-ийн чадалтай дотоод хэрэгцээний трансформатор болон хүчдлийн трансформаторууд (ХТ) секц тус бүрт залгагдана. Т-1,Т-2 гэсэн өсгөх трансформаторууд од/гурвалжин холбогдож 35 кВ-н тусгаарлагдсан саармаг цэг бүхий сүлжээг гүн газардуулагдсан саармаг цэг бүхий сүлжээ болгож 28 км урт 110 кВ-ийн хоёр хэлхээт өндөр хүчдэлийн цахилгаан дамжуулах агаарын шугамаар 110/35/10 кВ-ийн Налайх дэд станцтай холбогдож ТБЭХС-тэй холбогдоно [1]. ССЦС-ын 24км урттай кабель шугамд үүсч буй Ic багтаамжийн гүйдэл, салхин

турбин доторх UPS, давтамж хувиргагч, шулуутгагч гэх мэт хүчний электроникийн төхөөрөмжүүдээс шалтгаалж үүссэн гармоник, салхин турбины өөрийн горим ажиллагаа реле хамгаалалтын ямар хүндрэл үүсгэж байгааг дэлгэрүүлэн авч үзье

## II. ОНОЛЫН ХЭСЭГ

35 кВ-н фидерүүд болох СВК-1,2, Оролт-1,2, ДХТ-1,2 Бэлтгэл-1, Багц-1,2,3,4, СХВТ-д SEL-351A релег ашиглаж байна. 35кВ-н СВК-1,2-ын хамгаалалтанд Тайкай ХХК-ийн үйлдвэрийн тавилын тооцооны дагуу 2 шаттай отсечка хамгаалалт тавигдсан. Тус элемент чиглэлгүй тул аль ч чиглэлд гэмтэл гарсан селектив бус таслалт хийх боломжтой.

35кВ-н Оролт-1,2-ын реле хамгаалалтанд чиглэлгүй, хугацаатай гүйдлийн ихсэлтийн хамгаалалт тавигдсан.

35кВ-н ДХТ-1,2-ын реле хамгаалалтанд 2 шаттай отсечка хамгаалалт тавигдсан бөгөөд тус элемент нь чиглэлгүй тул аль ч чиглэлд гэмтэл гарсан селектив бус таслалт хийх боломжтой. Мөн трансформатор хийн реле, даралтын хавхлага болон тосны түвшин ихсэлтийн хамгаалалттай бөгөөд таслах хэлхээнд үйлчилнэ.

35кВ-н Багц-1,2,3,4-н реле хамгаалалтанд чиглэлтэй, хугацаатай гүйдлийн ихсэлтийн хамгаалалтын тавил тавигдсан ба тавилыг зохих аргачлалын дагуу тооцож тавьсан болно..

35кВ-н Багц-1,2,3,4 дээр суурилуулсан Feeder protection relay (REF-615N) серийн реле нь дараах хамгаалалтыг өөртөө агуулсан. Үүнд:

1. SEL-351A релен дээр тавигдсантай адилхан хугацаатай, гүйдлийн ихсэлтийн хамаарах тодорхойломжтой хамгаалалт тавигдсан.

2. SEL-351A релен дээр мөн тэг дарааллын хүчдэлийн ихсэлтийн хамгаалалт зохих тавилтай ажилладаг.

REF-615 реле хамгаалалтын давуу талууд:

1. Тэг дарааллын хүчдэл ихсэлтийн хамгаалалтын тавилыг шилжүүлдэг түлхүүртэй, компенсацлагдсан саармаг цэгтэй шугам сүлжээ болон бусад бүх саармаг цэгийн горимтой зохицож ажиллах чадвартай газардлагын чиглэлтэй хамгаалалттай,

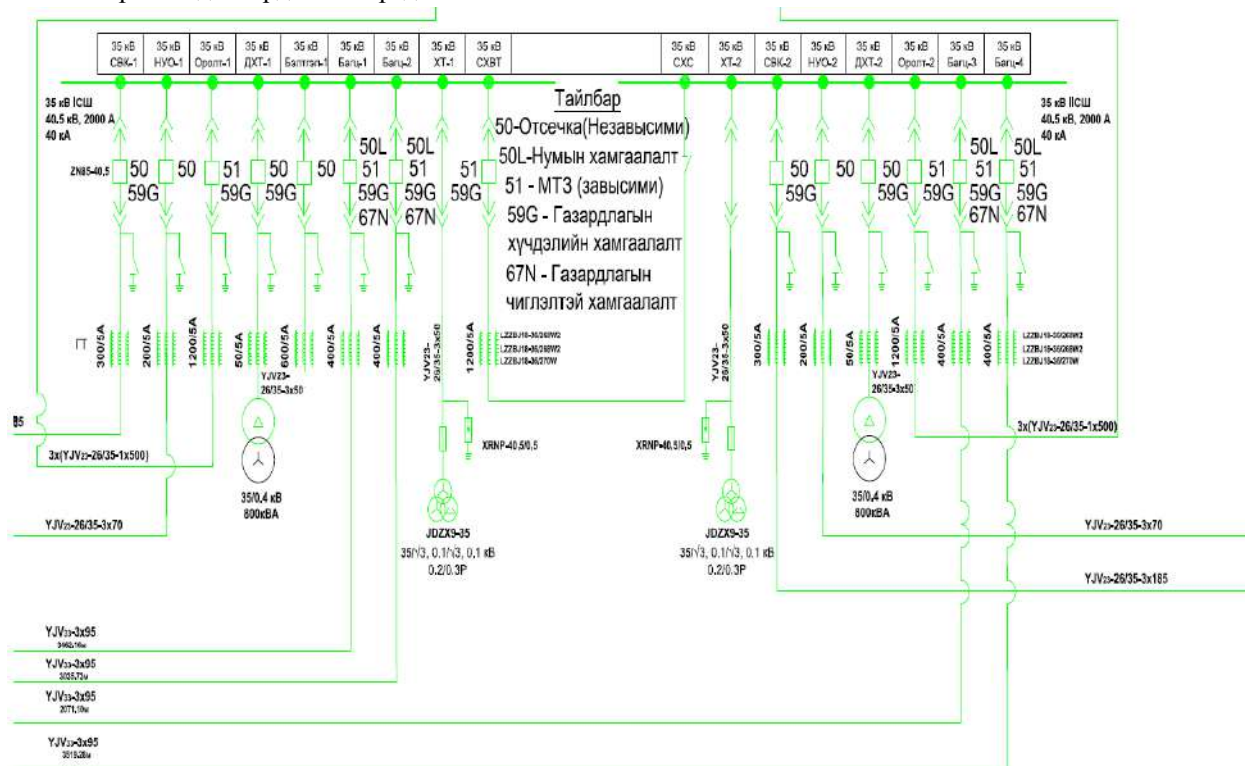
2. Компенсацлагдсан саармаг цэгтэй шугам сүлжээнд газардлагын гүйдлийг хэмжиж

хамгаалалтын хэлхээнд ашиглахын тулд IEC 61869-2 стандартын дагуу 100/1A, 5P нарийвчлалын зэрэгтэй гүйдлийн трансформатор ашигладаг, нумын хамгаалалттай [5].

3. 35кВ-н секц холбогч вакуум таслуур (СХВТ)-ын реле хамгаалалтанд чиглэлгүй, хугацаатай гүйдлийн ихсэлтийн хамгаалалт тавигдсан.

4. 35кВ-н НУО-ын реле хамгаалалтанд хугацаагүй отсечка хамгаалалт тавигдсан.

“Салхит” СЦС-ын 35 кВ-н тоноглолуудад тавигдсан РХА-н төхөөрөмжүүдийг зохих тайлбартайгаар 2-р зурагт үзүүлэв.



2-р зураг. 110/35кВ-ын Салхит дэд станцын 35кВ талын тоноглолуудад ашиглаж буй реле хамгаалалт

### III. СУДАЛГААНЫ ХЭСЭГ

“Салхит” СЦС-н РХА-н төхөөрөмжүүд нь өөрийн үйл ажиллагаагаа найдвартай гүйцэтгэж ирсэн нь өнгөрсөн 6 гаруй жилийн статистик үзүүлэлтээр нотлогдоно. Гэвч Салхит СЦС-н ашиглалт, үйл ажиллагааны явцад дутагдалтай болон тоноглолын сайжруулж шинэчлэх шаардлагатай зүйлс бусад станцуудын адил тохиолдоно. Үүний нэгэн жишээ болгож 2017.09.19-ний өдөр 35 кВ-н НУО-2-г залгах үед болсон 35 кВ-н Багц-3,4-ийн тасралт, мөн 2018.11.22-ны өдөр НУО-2-г залгах үед болсон 35 кВ-ын Т-2 оролтын тасралтын учир шалтгаан,

ийм тохиолдлууд үүсэхэд РХА-г хэрхэн сайжруулж болохыг авч үзье.

**1-р тохиолдол:** 2018.11.22-ны өдрийн 35 кВ-н Т-2 оролтын тасралт:

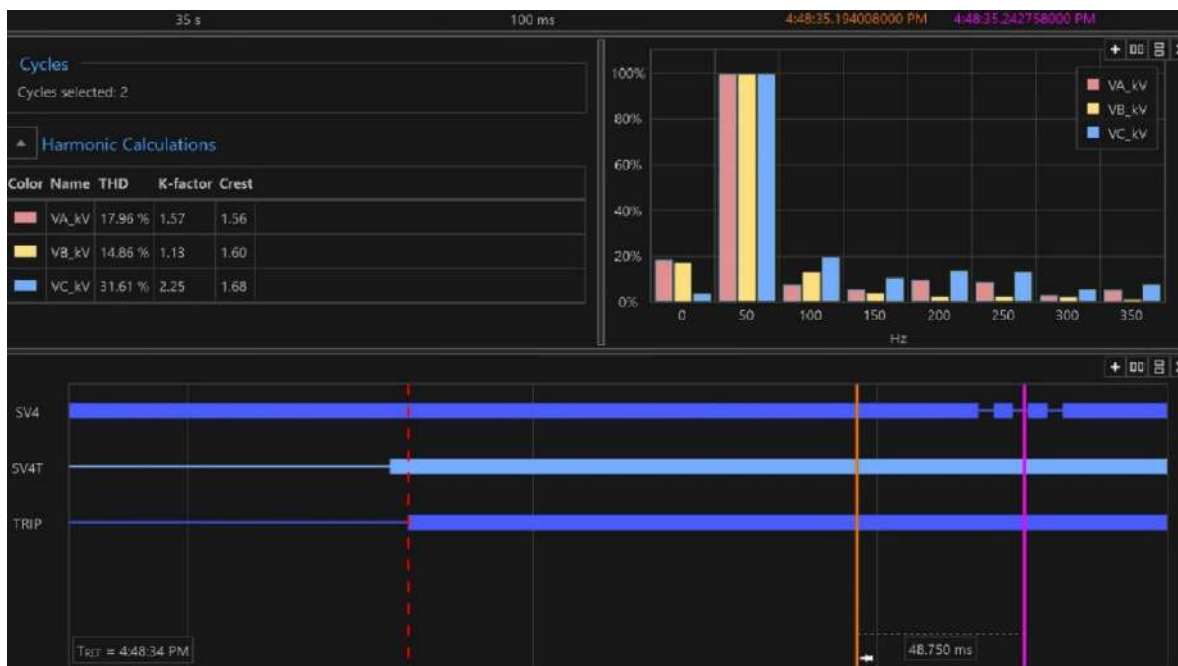
НУО-2-г залгах үед 35кВ-н Т-2 оролт газардлагын хүчдлийн хамгаалалтаар тасарсан гэж үзсэн. Тухайн үеийн тавил тохиргооноос харахад тасралтанд хүчдлийн трансформаторын задгай гурвалжин холболт нөлөөлөөгүй, харин 3 фазын хүчдлийн зөрүү буюу небалансын хамгаалалт ажиллаж таслуур тасарсан байсан. “59N1”, “59N2” функц нь тэг дарааллын хүчдлийг хүчдлийн трансформаторын задгай

гурвалжин хэлхээнээс хамааралгүйгээр 3 фазын хүчдлийн хэлхээнээс тооцож гаргадаг. Тасралтын бичлэг дээрх коммутацын үед 35 кВ-ын шинд Unbalance хүчдэл 1470В-с 4200В хүртэл үүсч хэлбэлзэж байна. Харин задгай гурвалжин

холболтоос тэжээгдэж буй релений VS оролт дээрх хүчдэл 870В-с 2500В хүртэл хэлбэлзэж байна. Мөн тасралтын үед гармоникийн хэмжээ (THD) 1.69%-иас 30% хүртэл өсч байна. Тасралтын үеийн бичлэгийг 3,4-р зурагт үзүүлэв.



3-р зураг. SEL 351A релен дээрх 35 кВ-ын Т-2 оролтын тасралтын бичлэг



4-р зураг. SEL 351A релен дээрх 35 кВ-ын Т-2 оролтын тасралтын бичлэг

**2-р тохиолдол** : 2017.09.19-ний өдрийн 35 кВ-ын Багц-3,4-ийн тасралт:

35 кВ-ын НУО-2-г залгах үед Багц-3, Багц-4 нь “ тэг дарааллын хүчдэл ихсэлтийн хамгаалалт “59N1”-ээр тасарсан гэж үзсэн. Тухайн үеийн

тавил тохиргооноос харахад тасралтанд хүчдлийн трансформаторын задгай гурвалжин холболт нөлөөлөөгүй байна. Харин 3 фазын хүчдлийн зөрүү буюу Unbalance protection ажиллаж таслуур тасарсан байна. Задгай

гурвалжин холболтоос тэжээгдэж буй релений VS оролт дээрх хүчдэл 1187-с 2750В хүртэл хэлбэлзэж байгаа нь бичлэгээс харагдаж байна. Тасралтын үеийн бичлэгийг зураг 5-д үзүүлэв.



5-р зураг. 2017.09.19-ний өдрийн 35 кВ-ын Багц-3,4-ийн тасралтын бичлэг

Дээрх тасралтууд үүссэн шалтгаан нь:

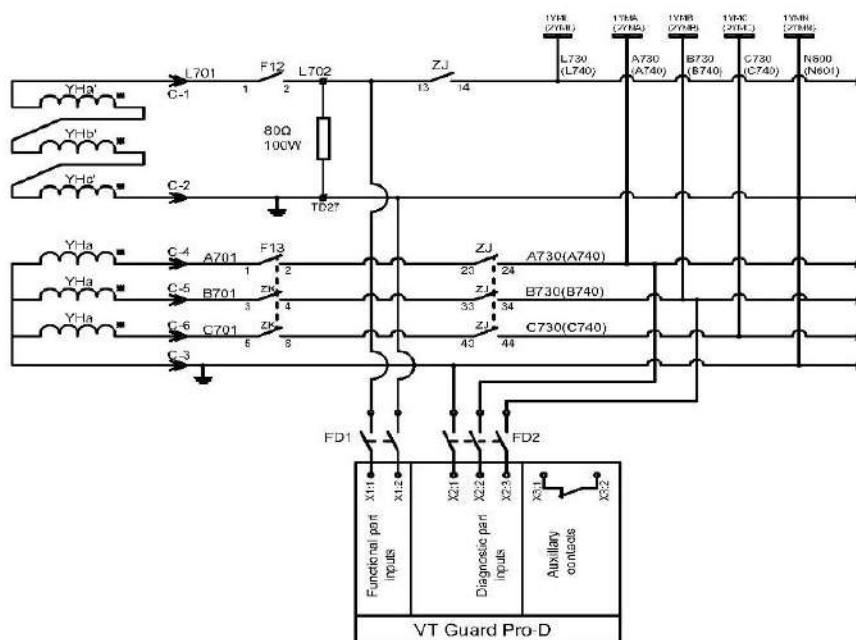
Салхин турбин доторх UPS, давтамж хувиргагч, шулуутгагч гэх мэт хүчний электроникийн төхөөрөмжүүдээс шалтгаалж үүссэн гармоник [7], кабель шугамд үүсч буй Ic багтаамжийн гүйдэл зэргээс шалтгаалж НУО-г сэлгэн залгалт хийх үед 35кВ-ын секц-2-т хүчдлийн зөрүү 5 кВ хүртэл үүсч байгаа нь тасралт гарах үндсэн шалтгаан болж байна.

Одоогийн тавилаар “59N1” тавилаар 3 фаз хооронд хүчдлийн зөрүү үүсэхээс гадна хоёрдогч талд үзүүр хөндийрөх, клемм хугарах гэх мэт гэмтлийн үед хамгаалалт ажиллаж секцийг бүрэн хүчдлээс чөлөөлж болзошгүй, үүнээс сэргийлэхийн тулд “59N1” небалансын тавилыг таслах хэлхээнээс гаргаж, дохиоллын

хэлхээнд шилжүүлэх нь зүйтэй. Задгай гурвалжингийн хэлхээгээс холбогдсон “VS Channel”-ийн “59S1 Overvoltage” функцээр [8] газардлагын хамгаалалтыг идэвхитэй болгох нь сайн талтай харагдаж байна.

Дээрх тасралтын бичлэгээс харахад THD гармоникийн хэмжээ 1.69%-иас 30% хүртэл өсч байна. Олон улсын жишигээс харахад хүчдлийн трансформаторт үүсэх феррорезонансыг саармагжуулах, эсэргүүцлийг хүчдлийн трансформаторын задгай гурвалжин хэлхээнд нэмж холболт хийдэг, ингэснээр гармоникийн нөлөөллийг багасгана [3].

6-р зурагт хүчдлийн трансформаторын хэлхээнд оруулсан өөрчлөлтийн схемийг үзүүлэв.



6-р зураг. Хүчдлийн трансформаторын задгай гурвалжин хэлхээнд эсэргүүцэл зэрэгцээ холбох схем

Хүчдлийн трансформаторт феррорезонанс хязгаарлах эсэргүүцэл холбосноор коммутацийн үед ХТ-д үүсэх хэт хүчдлийг бууруулж байгаа нь тухайн цэг дээр хийгдсэн туршилт, хэмжилтийн үр дүнгээр батлагдаж байна [10].

#### IV. ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгааны ажлаар салхин турбин доторх хүчний электроникийн төхөөрөмжүүд мөн өөрийн горим ажиллагаа зэргээс шалтгаалж үүссэн гармоник, кабель шугамд үүсч буй Ic багтаамжийн гүйдэл зэргээс шалтгаалж НУО-т сэлгэн залгалт хийх үед 35кВ-ын секц-2-т хүчдлийн зөрүү 5 кВ хүртэл үүсч байгаа нь тасралт гарах үндсэн шалтгаан болж байна.

2. Хамгаалалтын үйл ажиллагаанд хийсэн судалгааны үр дүнгээр 3 фаз хооронд хүчдлийн зөрүү үүсэх хоёрдогч талд үзүүр хөндийрөх, клемм хугарах гэх мэт гэмтлийн үед хамгаалалт зүй бусаар ажиллаж секцийг бүрэн хүчдлээс чөлөөлж болзошгүй байдлаас сэргийлэх боломжтой.

3. Задгай гурвалжингийн хэлхээ холбогдсон “VS Channel”-ийн “59S1 Overvoltage” функцээр газардлагын хамгаалалтыг идэвхитэй болгож “59N1” небалансын тавилыг таслах хэлхээнээс гаргаж, дохиоллын хэлхээнд шилжүүлэх өөрчлөлтийг оруулснаар СЦС-н хэвийн найдвартай ажиллагааг дээшлүүлэх боломж олгоно.

#### V. НОМ ЗҮЙ

[1] З.Цэрэндорж, Ц.Эрдэнэтуяа “Сэргээгдэх эрчим хүчний хэрэглээ ба энергийн хуримтлуур”, 2016. 234х.  
[2] Салхит төслийн тайлан” 2013

[3] ABB, “Voltage transformer solution for Ferroresonance elimination”  
[4] EWEA “Wind energy in Europe in 2018”.  
[5] “Feeder protection and control REF-615” instruction manual.  
[6] GWEC. "Global Installed Capacity in 2018". 26 February 2019. Retrieved 22 March 2019..  
[7] Kai yang “Wind turbine harmonic emissions and propagation through A wind farm”, 2014.  
[8] “SEL-351A feeder protection relay instruction manual”  
[9] Wind Energy <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/renewable-energy.html.html#wind-energy>  
[10] W. Piasecki, M. Stosur, T. Kuczek, M. Kuniewski, R. Javora “Ferroresonance in MV Voltage Transformer: Pragmatic experimental approach towards investigation of risk and mitigating strategy”, International Conference on Power Systems Transients, 2017  
[11] 李庚银-“电力系统分析基础”, 机械工业出版社, 2011.157x  
[12] 赵书强-“电力系统暂态过程”, 机械工业出版社, 2010. 63x.

## ЗЭРЭГЦЭЭ ХОЛБОГДСОН ТОГТМОЛ ГҮЙДЛИЙН ӨСГӨХ ХУВИРГУУР АШИГЛАН ЧАДЛЫН КОЭФФИЦИЕНТИЙГ ДЭЭШЛҮҮЛЭХ, ГАРМОНИКИЙН ГАЖИЛТЫГ БУУРУУЛАХ СУДАЛГАА

С. Гончигсүрэн<sup>1</sup>, Б.Сэргэлэн<sup>2</sup> Ч. Рэнчиндорж<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Цахилгааны инженерийн салбар  
[gonchigsuren0823@gmail.com](mailto:gonchigsuren0823@gmail.com), [bsergelen@must.edu.mn](mailto:bsergelen@must.edu.mn), [renchin@must.edu.mn](mailto:renchin@must.edu.mn)

*Хураангуй*–Системийн чадлын коэффициент нь цахилгаан эрчим хүчний үйлдвэрлэл, дамжуулах, түгээх сүлжээнд ихээхэн нөлөө үзүүлдэг. Бага чадлын коэффициенттэй хэрэглэгч нь ижил чадал хэрэглэж байгаа өндөр чадлын коэффициенттэй хэрэглэгчээс илүү их гүйдэл хэрэглэдэг. Өндөр гүйдлээр цахилгаан энергийг дамжуулах нь түгээх сүлжээнд чадал, энергийн алдагдлыг ихэсгэдэг. Хүчний хагас дамжуулагч төхөөрөмжийн технологи хөгжихийн хэрээр гэр ахуй, үйлдвэр, сансар огторгуй, цахилгаан тээврийн хэрэгсэл болон бусад системийг багтаасан шинэ, өргөн хэрэглээ болж өргөжиж байна. Энэхүү шугаман бус ачаалал нь дээд гармоникийн гол эх үүсвэр бөгөөд цахилгаан эрчим хүчний системийн үр ашигт нөлөөлдөг. Цахилгаан хэлхээн дэх хүчний электроникийн төхөөрөмжүүдээс шалтгаалж хэрэглэж буй гүйдлийн хэлбэр гажуудсанаас болж нийт гармоникийн гажуудал (THD-Total harmonic distortion) өсөх болон чадлын коэффициент (PF- power factor)- ийн бууралт үүсдэг. Энэ нь гурван фазын систем дэх нейтралын гүйдлийн хэмжээ ихсэх, трансформатор болон асинхрон хөдөлгүүр хэт халах зэрэг эрчим хүчний системд сөрөг нөлөө үзүүлдэг. Иймээс чадлын коэффициентийг сайжруулах, шугамын гүйдлийн гармоникийг багасгах хэрэгцээ урган гарч байна. Энэ ажлаар олон түвшний өсгөх хувиргуурыг ашиглаж чадлын коэффициентийг дээшлүүлэх, нийт гармоникийн гажуудлыг бууруулах удирдлагын аргыг хэрэгжүүлэхийг зорив. Гэдрэг холбоотой олон түвшний тогтмол гүйдлийн өсгөх хувиргуурыг ашиглан чадлын коэффициент дээшлүүлэх, нийт гармоникийн гажилтыг багасгах зорилгоор ашигласан туршилтыг Altair Embed програмын симуляцын орчинд туршиж үр дүнг үзүүлэв. Altair Embed программ нь туршиж буй удирдлагын аргыг микропроцессорт шууд хэрэгжүүлэх боломж олгодог программ хангамж юм.

*Түлхүүр үг*–boost converter, power factor correction, чадлын коэффициент дээшлүүлэлт, Altair Embed.

### I. УДИРТГАЛ

Хувьсах гүйдлээр тэжээлтэй тогтмол гүйдлийн ихэнх цахилгаан хэрэгслүүд оролтондоо диодон шулуутгагчийг ашигласан байдаг. Эдгээр нийтлэг хувиргуур нь оролтын хувьсах гүйдлийг тогтмол гүйдэлд шулуутгаад, хүчдэлийг багтаамж ихтэй конденсаторын тусламжтай шүүж өгдөг. Конденсатор нь шулуутгагдсан хүчдэлийнлугшилтыг шүүх боловч оролтын гүйдэл нь синуслаг бус болж нийт гармоникийн гажилт үүсэх ба үүнээс улбаалж чадлын коэффициент буурдаг. Чадлын коэффициент бага, өндөр пулсацтай гүйдэл үүсгэдэг нь диод болон тиристорын удирдлагат шулуутгагчдын үндсэн сул тал болж өгдөг. Ийм төрлийн хувиргууртай цахилгаан хэрэглэгчдийн хэрэглэж буй чадал нь дамжуулах болон түгээх сүлжээнд чадлын бохирдол (Шугаман бус, гармоник гажилт ихтэй) үүсгэдэг. Реактив чадал болон нийт гармоник гажилт ихтэй гүйдэл нь шугамын хүчдэлийг гажуудуулж, хөдөлгүүр болон трансформаторын зүрхэвч дэх алдагдлыг нэмэгдүүлэх, цахилгаан дамжуулах, түгээх шугамд чадлын алдагдлыг нэмэгдүүлдэг. Тиймээс чадлын коэффициентийг дээшлүүлэх (PFC-Power factor correction), нийт гармоникийн гажилтыг (THD- Total harmonic distortion) бууруулах шаардлага гардаг. Эрчим хүчний

чанарын эдгээр асуудлуудыг шийдэхийн тулд чадлын коэффициентыг дээшлүүлэх янз бүрийн аргуудыг ашигладаг бөгөөд тэдгээрээс өсгөх хувиргуур ашиглах нь янз бүрийн ac/dc болон dc/dc хувиргуурт өргөн хэрэглэгдэж байна [1].

Тогтмол гүйдлийн өсгөх хувиргуур нь чадлын өргөн хязгаарт буюу хэдэн ватт -аас хэдэн киловатт хүртэл олон төрлийн ачаалалд хэрэглэгдэж байна. Гэвч энэ хувиргуурын шугаман бус ачаалал нь гүйдлийн гармоникыг ихээхэн гажуулдуулдаг. Зарим тохиолдолд хувьсах гүйдэл талд түүний үүсгэсэн шугаман бус хэрэглээг шүүх идэвхитэй шүүлтүүр хэрэглэгдэж реактив чадал, гүйдлийн гармоникийн хэлбэрийг сайжруулах арга хэмжээг авдаг. Идэвхитэй шүүлтүүр нь нэмэлт инвертер шаарддаг ба шугаман бус ачааллын гүйдэл, компенсацилагдсан гүйдэл хоёрыг хоёуланг нь хэмжиж ажилладаг. Энэ хэрээр хэрэгжүүлэх үнэ өртөг маш өндөр болдог.

Чадлын коэффициент сайжруулалт, идэвхитэй хувьсах гүйдлийн шүүлтүүр, AC/DC хувиргуур мөн чадлын коэффициент сайжруулах арга хэрэглэсэн тогтмол гүйдлийн өсгөх хувиргуур бүгд нэгэн зэрэг ажиллаж идэвхитэй хувьсах гүйдлийн шүүлтүүр шиг сүлжээнээс хэрэглэх гүйдэл нь цэвэр синуслаг болно.

Тогтмол гүйдлийн өсгөх хувиргуур нь шугаман бус ачаалалд шаардлагатай гүйдлийг гаргах ба эдгээрийн үр дүнд AC/DC диодтой хувиргуур нь ерөнхийдөө цэвэр синуслаг гүйдэл сүлжээнээс хэрэглэж гүйдлийн фаз хүчдэлийн фазтай давхцан чадлын коэффициент дээшилнэ. Олон түвшинт тогтмол гүйдлийн өсгөх хувиргуур хэрэглэсэн нь чадлын хувьд өргөн хязгаарт хэрэглэх боломжийг олгоно.

Энэ өгүүлэл нь уламжлалт хүчний шулуутгагчийг симуляцийн орчинд туршиж оролт гаралтын гүйдэл, хүчдэлийн хэлбэрийг судлахаас эхлэлтэй. Энгийн шулуутгагч хэлхээнээс эхэлж цааш гүнзгийрүүлэн шулуутгагч, тогтмол гүйдлийн өсгөх хувиргуур бүхий нийлмэл хэлхээ болгон түүн дээр эрчим хүчний үзүүлэлтийг сайжруулах арга техник хэрэглэн хөгжүүлж туршив. Үүнд гол төвлөрч ажилласан хэсэг нь оролтын гүйдлийн хэлбэр буюу түүнийг синуслаг хэлбэрт оруулж ажиллах ингэснээр чадлын коэффициент дээшлэх, нийт гармоникийн гажилт буурах гэсэн төсөөлж буй үр дүн гарч ирэв. Бүх симуляцийг Altair Embed програм хангамжийн тусламжтай гүйцэтгэсэн болно.

## II. ТӨРӨЛ БҮРИЙН АЧААЛАЛТАЙ ҮЕИЙН ЧАДЛЫН КОЭФФИЦИЕНТ

Чадлын коэффициент нь хувьсах гүйдлийн хэлхээний гүйдэл болон хүчдэлийн хоорондох өнцгийн косинусаар тодорхойлогдоно. Хэрэв ачаалал нөлөөмжийн шинжтэй бол гүйдэл нь хүчдэлээс хоцорно. Ачаалал багтаамжийн шинжтэй бол гүйдэл нь хүчдэлээс түрүүлнэ [2].

### A. Шугаман систем дэх чадлын коэффициент

Хувьсах гүйдлийн ачаалал дээр унаж буй хүчдэл, түүгээр гүйж буй гүйдэл синуслаг бол гүйдэл нь хүчдэлтэйгээ ямагт порпорциональ байна. Чадлын коэффициент зөвхөн гүйдэл болон хүчдэлийн хоорондын фазын зөрүүгээр тодорхойлогдоно.

### B. Шугаман бус систем дэх чадлын коэффициент

Хувьсах гүйдлийн ачаалал шугаман бус бол гүйдэл нь хүчдэлтэй пропорциональ байхаа болино. Шугаман бус ачааллын гүйдэл нь гүйдлийн дээд гармоникүүдийг үүсгэх ба энэ гүйдлийн гажилт нь хүчдэлийн долгионы хэлбэрийг гажуудуулахад хүргэдэг. Синусоид хүчдэл ба синусоид бус гүйдлийн хувьд чадлын коэффициент (PF)-ийг дараах байдлаар илэрхийлж болно.

$$PF = \frac{V_{rms} * I_{1rms}}{V_{rms} * I_{rms}} * \cos\theta \quad (1)$$

$$PF = \frac{I_{1rms}}{I_{rms}} * \cos\theta = K_d * K_p \quad (2)$$

энд:  $\cos\theta$  - хүчдэл ба гүйдлийн гажилтын коэффициент,  $K_p$  - гармоникийн коэффициент

## III. ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ ЧАНАРТ ДЭЭД ГАРМОНИКИЙН ҮЗҮҮЛЭХ НӨЛӨӨ

Үндсэн давтамжтай гармоникоос бусад давтамжтай буюу 50Гц ээс бусад давтамжтай гармоникүүд гүйдэл болон хүчдэлд агуулагдах нь эрчим хүчний чанарыг бууруулж эрчим хүчний системд хэд хэдэн замаар нөлөөлдөг. Дээд гармоник өндөртэй үед цахилгаан эрчим хүчний дамжуулалтын үр ашиг буурах, дамжуулагч болон зүрхэвч дэх алдагдал ихсэж халалт үүсэх асуудал гардаг. 3 фазын системд саармаг дамжуулагч нь сондгой гармоникүүдаас болж хамгаалалтгүй болдог. Дээд гармоникүүдын нөлөөнөөс шалтгаалж гүйдлийн оргил утга ихсэж реле хамгаалалтын систем буруу ажиллах нөхцөл бүрдэх гэх мэт асуудлууд үүснэ. Эцэст нь дээд гармоникүүд цахилгаан соронзон давхцал үүсгэж харилцаа холбоог тасалдуулах, цахилгаан тоног төхөөрөмжийн найдвартай байдлыг бууруулах, өндөр хүчдэлийн тусгаарлагч материал муутгах гэмтээх, сонсогдохуйц дуу чимээ үүсгэх гэх мэт асуудлуудыг үүсгэж болно.

## IV. ЧАДЛЫН КОЭФФИЦИЕНТИЙГ ДЭЭШЛҮҮЛЭХ ТӨРЛҮҮД

### A. Пассив аргаар чадлын коэффициентийг дээшлүүлэх

Дээд гармоникийг зөвхөн шугамын давтамжтай (50 Гц) гүйдэл дамжуулдаг шүүлтүүр ашиглан хамгийн энгийн аргаар удирдаж болно. Дээд гармоникүүд дарагдаж, шугаман бус төхөөрөмж нь шугаман ачаалал шиг болно. Ингэж гармоник гүйдлийг шүүхдээ конденсатор ба ороомог ашиглан чадлын коэффициентийг сайжруулж болно. Гэхдээ сул тал нь өндөр үнэ бүхий өндөр гүйдлийн индукцийн ороомог шаарддаг бөгөөд тэдгээр нь үнэтэй, том хэмжээтэй байдаг.

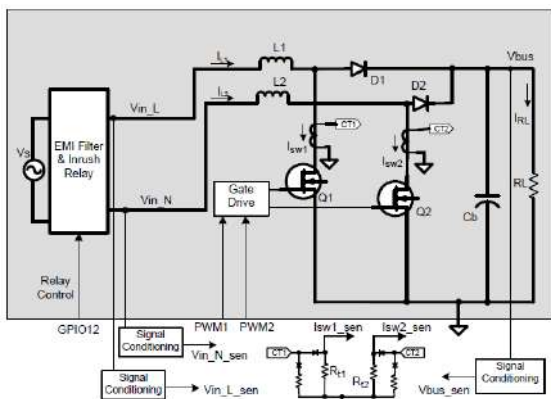
### B. Актив аргаар чадлын коэффициентийг дээшлүүлэх

Актив арга бол цахилгаан хангамжийн чадлын коэффициентийг дээшлүүлэх хамгийн үр дүнтэй арга юм. Энд бид гүүрэн шулуутгагч ба хэрэглэгчийн хооронд тогтмол гүйдлийн өсгөх хувиргуурыг байрлуулна. Хувиргуур нь тогтмол гүйдлийн гаралтын шинний хүчдэлийг тогтмол байлгахаас гадна шулуутгагчийн оролтон дахь шугамын хүчдэлтэй ижил давтамжтай гүйдлийг хэрэглэдэг.

## V. ТОГТМОЛ ГҮЙДЛИЙН ӨСГӨХ ХУВИРГУУР (BOOST CONVERTER)

Оролтын гүйдлийн гармоник гажилтаас урьдчилан сэргийлэхийн тулд чадлын коэффициентийг сайжруулах (PFC- power factor correction) аргыг ашигладаг. Чадлын коэффициент сайжруулах олон аргуудаас тогтмол гүйдлийн өсгөх хувиргуур хэрэглэх нь нийтлэг бөгөөд хялбар арга юм. Тогтмол гүйдлийн өсгөх хувиргуурын ерөнхий схемийг зураг 1-т үзүүлэв.





1-р зураг. Олон түвшинт тогтмол гүйдлийн өсгөх хувиргуур [3]

**Ажиллах зарчим:** Зэрэгцээ холбогдсон тогтмол гүйдлийн өсгөх хувиргуур нь зэрэгцээ ажиллах хоёр тогтмол гүйдлийн өсгөх хувиргуураас тогтох бөгөөд L1 болон L2 индукцлэл, Q1 болон Q2 транзистор мөн D1, D2 диод бүгдээрээ зэрэгцээ ажиллаж транзисторт өгч буй удирдлагын сигнал нь өөр хоорондоо 180 градусын зөрүүтэй байна. Ингэж зэрэгцээ хоёр тогтмол гүйдлийн өсгөх хувиргуур хэрэглэсэн нь их чадлын хэрэглээнд тохиромжтой буюу нэг хэлхээнд оногдох гүйдлийн хувь бага байх мөн оролтын гүйдэл ба конденсаторын гүйдлийн хэлбэлзэлийг багасгах ач холбогдолтой.

Аль нэг транзистор залгагдах үед тэжээлийн хүчдэл ороомог болон тухайн транзистороор дамжин газардах ба ороомог өөртөө цахилгаан соронзон орны энерги хуримтлуулж авдаг. Энэ үед гаралтын конденсатор дээр хуримтлагдсан энерги ачаалал руу урсах ба транзисторын залгаатай байдал нь диодыг эсрэг залгалтын горимд оруулж диод гүйдэл дамжуулахгүй. Транзистор салгагдах үед оролтын тогтмол хүчдэл дээр ороомогт индукцлэгдэх өөрийн цахилгаан хөдөлгөх хүч нэмэгдэж диодоор дамжин конденсаторыг оролтын хүчдлээс өндөр хүчдлээр цэнэглэж ажиллана. Эхний транзистор салгаатай үед хоёрдогч транзистор залгагдаж хоёр дахь хэлхээний ороомогт энерги хуримтлагдаж байдаг. Транзисторын залгаатай байх хугацааг салгаатай байх хугацаанд харьцуулсан харьцааг залгалтын коэффициент (duty cycle) гэх ба түүгээр гаралтын хүчдэлийн өсөлтийг тодорхойлдог.

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{1 - D} \quad (3)$$

Q транзистор залгаатай үед:

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{V_{in}}{L} \quad (4)$$

Q транзистор салгаатай үед:

$$V_{in} - V_0 = L \frac{di_L}{dt} \quad (5)$$

$V_{in}$  - Шулуутгагдсан оролтын хүчдэл

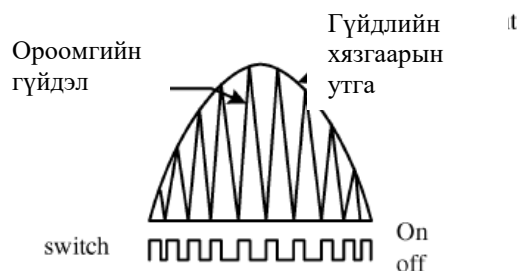
$V_0$  – гаралтын хүчдэл

D -залгалтын коэффициент

## VI. ЧАДЛЫН КОЭФФИЦИЕНТ ДЭЭШЛҮҮЛЖ АЖИЛЛАХ ГОРИМ (POWER FACTOR CORRECTION MODE)

### A. Ерөнхий ойлголт

Чадлын коэффициентийг дээшлүүлж нийт гармоникийн гажуудлыг бууруулахын тулд тогтмол гүйдлийн өсгөх хувиргуур нь оролтын хувьсах гүйдлийн хэлбэрийг хувьсах хүчдэлтэй адил буюу синуслаг байлгах горимоор шулуутгагдсан хүчдэлийг өсгөж ажиллах юм. Өөрөөр хэлбэл гүүрэн диодоор шулуутгагдсан лугшсан хэлбэртэй хүчдэлийн утгыг удирдлагын хэлхээ мэдрээд хүчдэлийн түвшин бага байх үед өсгөлтийн коэффициентийг нэмэгдүүлэх замаар оролтын хүчдэл бага үед ч сүлжээнээс тогтмол гүйдлийн хэлхээ рүү цахилгаан энерги урсаж байхаар удирдах юм.



2-р зураг. Ороомгийн гүйдлийн хэлбэр

Удирдлагын хэсэг нь хоёр хэсгээс бүрдэнэ. Тэдгээр нь:

- Оролтын гүйдлийн хяналтын гэдрэг холбоо
- Гаралтын хүчдэлийн хяналтын гэдрэг холбоо

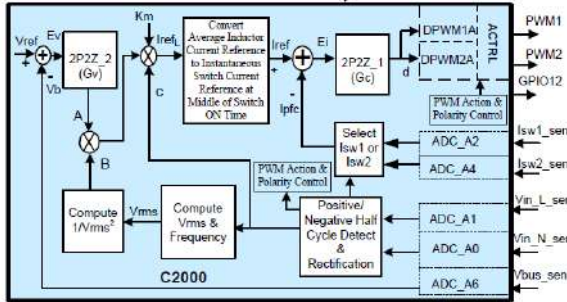
### B. Оролтын гүйдлийн гэдрэг холбоо (Current control loop)

Гүйдлийн удирдлагын зорилго нь гүйдлийн долгионы хэлбэрийг хүчдэлийн долгионы хэлбэрийг дагуулахад оршино. Гүйдэл нь хүчдэлийг дагаж байхын тулд тогтмол гүйдлийн өсгөгч нь гадаад конденсатор ба ачаалал дээр унах гаралтын хүчдэлийн утгыг гаргаж байхаар гармоникийг хангалттай хэмжээгээр авахаар хийгдсэн байх ёстой. Үүнийг хийснээр MOSFET асаалттай эсвэл унтарсан эсэхийг хянадаг импульсийн өргөний модуляцийн (PWM) удирдлагыг тохируулахын тулд өсгөх модуляторын мэдээллийг ашигладаг. PFC удирдлагын гол бүрэлдэхүүн хэсэг нь өсгөх модулятор юм. Өсгөх модулятор нь хоёр оролт, нэг гаралттай. Өсгөх модуляторын блокийн зүүн талын оролтыг ороомгийн гүйдэл (IL) гэж нэрлэдэг. Хяналтын гүйдэл нь оролтын бүрэн шулуутгагдсан хүчдэлтэй пропорциональ оролтын гүйдэл юм. Өсгөх модуляторын доод хэсэгт байрлах бусад оролт нь хүчдэлийн алдааны өсгөгчөөс ирнэ. Алдааны өсгөгч нь диодын дараа гаралтын хүчдэлийг авч, түүнийг жишиг хүчдэлтэй харьцуулна. Алдааны өсгөгчийн гаралт дахь гэнэтийн өөрчлөлт эсвэл долгион нь алдааны өсгөгчийн гаралтад тогтворгүй байдлаар нөлөөлөхгүйн тулд бага

зурвасын өргөнтэй байх болно. Өсгөх модулятор нь алдааны өсгөгчийн (гаралтын хүчдэлээр тодорхойлогддог) жишиг гүйдэл ба алдааны хүчдэлийн үржвэр юм [4].

C. Хүчдэлийн гэдрэг холбоо (Voltage control loop)

Өсгөх модулятор ба хүчдэлийн хяналтын гэдрэг холбоо нь оролтын гүйдэл ба гаралтын хүчдэлийг хэмжихийн тулд хамтдаа ажилладаг.



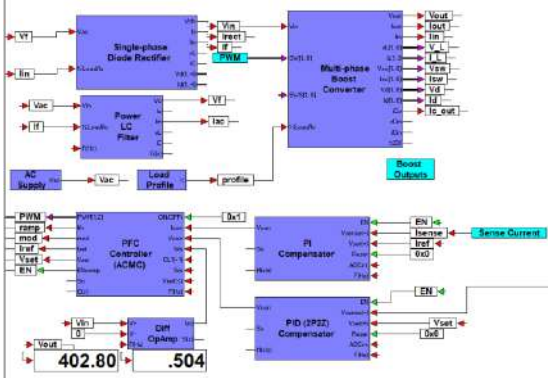
3-р зураг. Чадлын коэффициент дээшлүүлэх удирдлага

Эдгээр хоёр хэмжилтийг авч дараа нь хэрэв гүйдлийн хяналтын оролтод өсгөлт өгөх шаардлагатай бол бие биентэйн харьцуулан тодорхойлно. Ингэснээр гаралтын гүйдлийг харьцуулан PWM-ийн ажлын мөчлөгийг тодорхойлно.

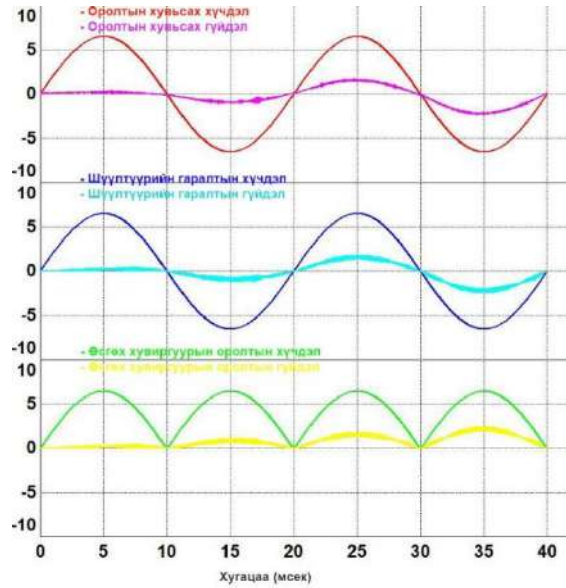
Үүнийг хийснээр MOSFET асаалттай эсвэл унтарсан эсэхийг хянадаг PWM удирдлагыг тохируулахын тулд өсгөх модуляторын мэдээллийг ашигладаг.

VII. Туршилтын үр дүн

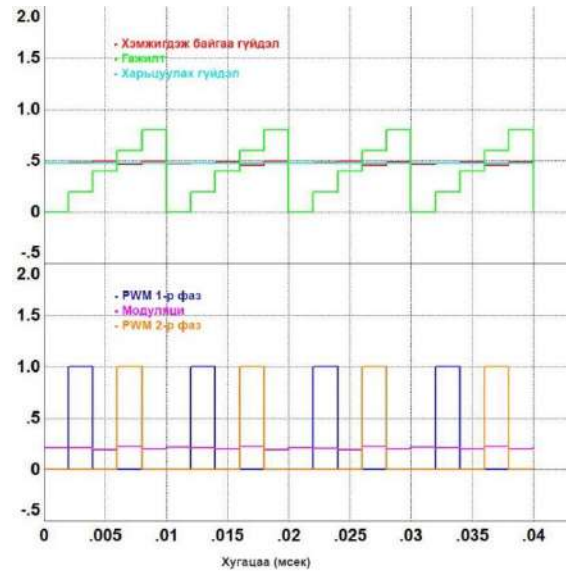
Зэрэгцээ холбогдсон тогтмол гүйдлийн хувиргуур ашиглан чадлын коэффициентийг дээшлүүлэх бүдүүвч Altair Embed програмчлалын орчинд загварчилсан ба зураг 4-т үндсэн бүдүүвчийн зураглалыг, зураг 5-т оролтын хэмжигдэхүүнүүдийн хугацаанаас хамаарсан хамаарлыг, зураг 6-т импульсийн өргөний модуляцийн удирдлагыг, зураг 7-т хувиргуурын гаралтанд дээрх хэмжигдэхүүний хугацаанаас хамаарсан хамаарлыг тус тус үзүүлэв.



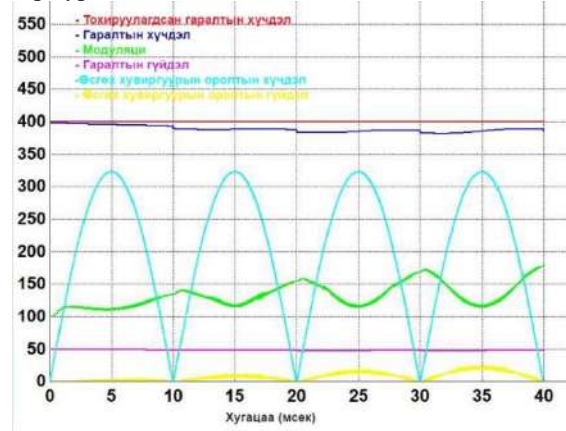
4-р зураг. Зэрэгцээ холбогдсон тогтмол гүйдлийн өсгөх хувиргуур ашиглан чадлын коэффициентийг дээшлүүлэх аргын үндсэн бүдүүвч



5-р зураг. Оролтын хэмжигдэхүүнүүдийн хугацаанаас хамаарсан график



6-р зураг. PWM



7-р зураг. Хувигуурын гаралтанд дээрх хэмжигдэхүүнүүдийн хугацаанаас хамаарсан график

Симуляцийн үр дүнгээс харахад зэрэгцээ холбогдсон тогтмол гүйдлийн өсгөх

хувиргуурын оролтон дээр шулуутгагдсан хүчдэл нь их хэмжээний импульсийн долгионтой байгаа үүнийг PFC хэсгийг дундаж гүйдлийг аргаар удирдан гаралтын хүчдэл болон гүйдлийн гармоникийн гажилтыг бууруулсан байна.

### **VIII. Дүгнэлт**

Энэ өгүүлэлд олон түвшиний тогтмол гүйдлийн өсгөх хувиргуур ашиглан чадлын коэффициентийг дээшлүүлэх аргыг тайлбарласан болно.

Зэрэгцээ холбогдсон тогтмол гүйдлийн өсгөх хувиргуурыг ашигласнаар чадлын коэффициентийг уламжлалт аргуудаас илүү хямд зардлаар дээшлүүлэх боломж бүрдэх юм. Мөн энэхүү тогтмол гүйдлийн өсгөх хувиргуур нь үйлдвэрлэлийн, цахилгаан автомашины, түгээх системийн хувиргуур хэсэгт ашиглахад үр ашиг өндөртэй бөгөөд чадлын коэффициентийг дээшлүүлэх дундаж гүйдлийн аргаар удирдан ажиллуулбал тухайн системийн эрчмийн чанар сайнаар нөлөөлөх болно. Симуляцийн үр дүнд гармоникийн гүйдэл багасч, ороомгийн хэмжээ авсаархан болох боломжтой болсон.

### **IX. НОМ ЗҮЙ**

- [1]. “J.T.Boys, A.W.Green, “Current-forced single-phase reversible rectifier,” IEE Proc. B 136, Vol.3, pp. 205-211”.
- [2]. D. A. C. P. H. J. Samarjit Bhattacharyya, “Case Study On Power Factor Improvement,” International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST), б. 3, pp. 8372-8379, 2011.
- [3]. t. C. U. guide, Digitally Controlled 2-Phase Interleaved Power Factor Correction (IL PFC) Converter Using C2000 Piccolo-A Microcontroller, 2015.
- [4]. T. L. N. Yin Yin Phyo, “Implementation the Average Input Current Mode Control of Two-Phase Interleaved Boost Converter Using Low-Cost Microcontroller,” World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Electronics and Communication Engineering, б. 12, pp. 770-781, 2018.
- [5]. “J.P.M Figueiredo, F.L.Tofoli and Silva A. Bruno Leonardo Silva, “A Review of Single-Phase PFC Topologies Based on The Boost Converter,” IEEE Trans. IA, 2010, pp. 1-6.”.
- [6]. “K.M.Smedley and S.Cuk, “One-cycle control of switching converters,” IEEE Trans.Power Electronics, Vol. 10, no. 6, pp. 625–633, November 1995.”.
- [7]. “P.Karuppanan, Kamala Kanta mahapatra, “PI and fuzzy logic controllers for shunt active power filter,”ISA Transactions 51, 2012, pp. 163–169. figure”.
- [8]. “S.Kolluri, “Analysis, Modeling, Design and Implementation of Average current mode control for interleaved boost converter,” Power Electronics and Drive Systems (PEDS), IEEE 10th International Conference, no. 4, 2013,pp. 280–285.”.

## ҮЙЛДВЭРЛЭЛ, ҮЙЛЧИЛГЭЭНИЙ ЗОРИУЛАЛТТАЙ АВТОМАТ РОБОТЫН СИСТЕМИЙН СУДАЛГАА, УДИРДЛАГЫН СИСТЕМИЙН ХӨГЖҮҮЛЭЛТ

Энхболд Мөнх-Эрдэнэ<sup>1</sup>, Биндэръяа Болдбаатар<sup>2</sup>, Бат-Эрдэнэ Бямбасүрэн<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Монгол улс, Улаанбаатар, Талх Чихэр ХК, Инженер техникийн алба

<sup>2</sup> Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Ахисан түвшний салбар

<sup>3</sup> Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Цахилгаан техникийн салбар  
[mnherdenee@gmail.com](mailto:mnherdenee@gmail.com)

*Хураангуй*—Сүүлийн жилүүдэд үйлдвэрлэл, үйлчилгээний салбарт автоматжуулсан системийг ихээр хэрэглэж эхлээд байна. Тэр дундаа автоматжуулсан удирдлагын системд роботын систем, хиймэл оюун ухааны технологиудыг түлхүү хэрэглэгдэх боллоо. Орчин үеийн техник, технологийн тэргүүлэх чиглэлд роботын техник зүй ёсоор ороод байна. Роботыг үйлдвэрлэл, үйлчилгээ, эрүүл мэнд, цэрэг арми, барилга байгууламж, эрчим хүч зэрэг олон салбарт хэрэглэж байна. Энэ дундаас үйлдвэрлэл, үйлчилгээний салбарыг шинэчлэх, сайжруулах зорилгоор төрөл бүрийн роботуудыг зохион бүтээж ашиглах болсон. Энэхүү өгүүлэлд үйлдвэрлэл, үйлчилгээний зориулалттай робот зохион бүтээх зорилгоор судалгаа хийж, судалгааны үр дүнд тулгуурлан музейн хөтөч роботын загварыг хийж гүйцэтгэсэн. Энэ музейн хөтөч робот нь хөдөлгөөнт автомат робот байх ба туршилтын роботын хөгжүүлэлтийг гүйцэтгэхдээ “iRobot Create 2” программчлагдах роботын платформыг сонгосон. Уг музейн хөтөч роботод “Raspberry Pi” удирдлагын микро компьютерыг ашиглахаас гадна “Python” программчлалын хэл дээр удирдлагын функцүүдийг боловсруулан туршилтыг гүйцэтгэсэн. Түүнээс гадна хэрэглэгчийн интерфейс боловсруулагдсан ба дуу боловсруулалтын зарим нэг алгоритмын үр дүнгүүдийг харуулсан. Зам төлөвлөлтийг гүйцэтгэхдээ зураас дагагч роботын зарчмаар автомат удирдлагыг сонгосон. Энэхүү автомат роботын системийг цаашид хөгжүүлснээр үйлчилгээний зориулалттай угтагч робот, харилцагчийн үйлчилгээний робот, хөтөч робот, танилцуулагч робот, хувийн туслагч робот, цэвэрлэгээний робот, сургалтын робот гэх мэт олон янзаар ашиглах боломжтой юм.

*Түлхүүр үг*—хөдөлгөөнт робот, автомат удирдлага, музейн хөтөч робот, роботын удирдлага, зураас дагагч.

### I. УДИРТГАЛ

Аж үйлдвэрийн дөрөвдүгээр хувьсгал эрчимтэй явагдаж буй сүүлийн жилүүдэд техник технологийн хурдтай хөгжлийн үр дүнд хиймэл оюун ухаан, роботын инженерчлэлийн салбарт хүчтэй дэвшил гарсан. Роботын системийг ашигласнаар хүний хөдөлмөрийг хөнгөвчлөх, хүнийг орлох, зардлыг бууруулах, ашиг орлогыг нэмэгдүүлэх, цаг хэмнэх, бүтээмжийг дээшлүүлэх, алдагдлыг бууруулах, хүний хийх боломжгүй зүйлийг гүйцэтгэх, аюултай хортой орчин нөхцөлд ажиллах, ачаа бараа зөөвөрлөх, илрүүлэх танилт хийх, хүнтэй харилцах, туслах, сэтгэл ханамжийг дээшлүүлэх, сонирхлыг татах, материал хэмнэх, алдаг бууруулах, ажил гүйцэтгэх, хүнд хөдөлмөр хийлгэх, сансрын судалгаа хийх, дээж авах, цэрэг байлдааны гэх мэт олон зориулалтаар зохион бүтээлд ашиглаж эхлээд байна [1]. Гэвч манай улсад роботын инженерчлэлийн салбарын хөгжил дэлхийн роботын инженерчлэлийн салбарын хөгжилтэй харьцуулахад ихээхэн хоцрогдсон байна. Иймээс энэ шинэ үеийн технологийн ололт амжилтаас суралцаж цаашид шинэ инновацлаг бүтээл, бүтээгдэхүүн гаргахын тулд өргөн

хүрээний судалгаа шинжилгээ туршилтын ажлыг хийх шаардлагатай байна.

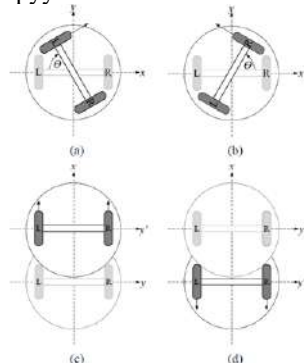
Сүүлийн жилүүдэд албан байгууллага, аж ахуйн нэгжүүд үйлчилгээний роботыг хэрэглээндээ нэвтрүүлэх, турших хүсэл сонирхлоо илэрхийлж байна. Жишээлбэл зочид буудалд зочидтой мэндлэх, мэдээллээр хангах, зугаацуулах, хүн төст роботыг танилцуулаад байна. Онгоцны буудалд зорчигчдын онгоцонд суух тасалбарыг уншаад зөв чиглэл танхимыг олоход тусалж байна. Өөрөө хөдөлдөг киоск робот нь автоматаар хүн ихтэй талбайг илрүүлж зорчигчдод тусалж хүлээлгийн хугацааг багасгана. Ялангуяа КОВИД-19-ын халдварын дэгдэлтийн үед хүмүүсийн температурыг хэмжих, ариутгал халдваргүйжүүлэлтийн ажлыг гүйцэтгэх зориулалттай эмнэлгийн үйлчилгээний роботын хэрэгцээ шаардлага өсөн нэмэгдэж байна [2]. Үйлчилгээний роботын зах зээлийн багтаамж 2027 гэхэд 41.5 тэрбум ам.долларт хүрэх тооцоог гаргажээ [3]. Эндээс үзэхэд үйлдвэрлэл, үйлчилгээний зориулалттай роботын хэрэгцээ өсөн нэмэгдэж байгаа нь харагдаж байна. Иймээс төрөл бүрийн үйлдвэрлэл, үйлчилгээний зориулалттай роботыг зохион бүтээх, хэрэглээнд нэвтрүүлэх судалгааг сайтар хийх шаардлагатай байна.

Энэхүү өгүүлэлд үйлдвэрлэл болон үйлчилгээний зориулалтаар ашиглах боломжтой автомат хөдөлгөөнт роботын систем зохион бүтээх зорилгоор судалгааг хийж, роботын туршилтын загварыг хөгжүүлсэн. Энэ роботын туршилтын загварын үүрэг бол хэрэглэгчдийг угтах, мэндчилэх, харилцах, мэдээлэл өгөх, хөдөлгөөн хийх явдал юм. Энэхүү роботыг ашигласнаар харилцагчийг хөгжөөх, хүмүүсийн сонирхлыг татах, мэдээллийг хүртээмжтэйгээр хүргэх, цаасны хэрэглээг бууруулах боломжтой.

Өгүүлэл нь дараах бүтэцтэй: I хэсэгт удиртгал, II хэсэгт онолын хэсэг, III хэсэгт судалгааны хэсэг, IV хэсэгт туршилтын үр дүнг өгүүлсэн. Төгсгөлийн V хэсэгт уг өгүүлээс гарсан үр дүнгүүдийг нэгтгэн дүгнэв.

## II. ОНОЛЫН ХЭСЭГ

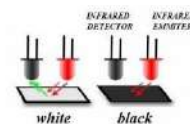
Хөдөлгөөнт робот бол орчин тойрондоо хөдөлгөөн хийх чадвартай робот юм [4]. Манай роботын хувьд хамгийн энгийн хос дугуйт хөдөлгөөнт роботын загварыг ашигласан. Хөдөлгөөнт роботын удирдлагын зарчмыг 1-р зурагт харуулав. Байршил тодорхойлолт бол роботын x-y-θ орон зайн координатыг тооцоолох асуудал юм. X болон Y нь 2D Картезийн координатын системийн координатууд бол θ нь orientation буюу чиглэлийн харуулж байна.



1-р зураг. Хос дугуйт дифференциал жолоодлоготой роботын хөдөлгөөн. а) зүүн эргэх б) баруун эргэх с) урагшлах d) ухрах

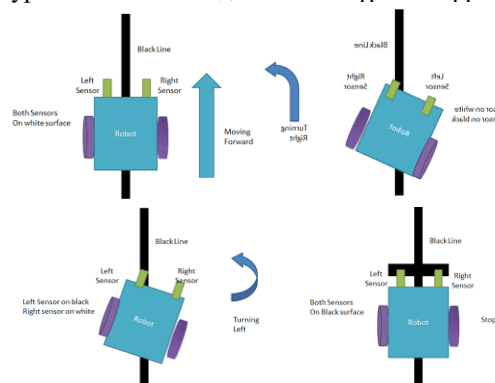
Хөдөлгөөнт роботыг ямар нэг физикийн эсвэл цахилгаан-механик замчлагч төхөөрөмжгүйгээр байгаа орчиндоо жолоодлого хийх чадамжтай роботыг автомат хөдөлгөөнт робот гэдэг. Хөдөлгөөнт робот нь контроллер буюу удирдлагын төхөөрөмж, мэдрэгчүүд, гүйцэтгэх механизмууд, хүчний системээс тогтдог [5]. Манай роботын автомат удирдлагыг зураас дагагч автомат роботын удирдлагаар гүйцэтгэсэн. Зураас дагагч роботын ажиллах зарчим нь гэрлийн үзэгдэл дээр тулгуурладаг. Бидний мэдэхээр цагаан гадаргуу гэрлийг ойлгох шинж чанартай. Харин хар гадаргуу гэрлийг шингээх шинж чанартай. Манай роботын урд хэсгийн доод талд хэт улааны туяаны мэдрэгч буюу “Infrared sensor” дөрвөн хос суурилагдсан байдаг. Хэт улаан туяаны мэдрэгчийн ажиллах зарчим нь цагаан

гадаргууд хэт улаан туяа тусахад ойсон гэрэл хүлээн авагчид хүчдэлийн өөрчлөлтийг бий болгоно. Харин хар гадаргууд хэт улаан туяа тусахад гэрэл хар гадаргууд шингэнэ. 2-р зурагт харуулав. Энэ шинж чанарыг ашиглан хэт улаан туяаны мэдрэгч нь бодит хугацааны хэмжилт хийнэ.



2-р зураг. Хэт улаан туяаны мэдрэгчийн ажиллах зарчим

3-р зурагт цагаан зураас дагагч роботын ажиллах зарчмын зургийг харуулав. Тодорхой маршрутын дагуу төлөвлөгдсөн хар зураасыг даган робот хөдөлгөөн хийнэ. Алдааны улмаас робот хар зураасаас гарах үйлдлийг мэдрэгчийн программын алгоритм засаж, буцаад хар зураасыг голлон хөдөлгөөнийг үргэлжлүүлнэ.



3-р зураг. Зураас дагагч роботын ажиллах зарчим

Үйлдвэрлэлийн робот бол үйлдвэрлэлд ашиглагддаг робот юм. Үйлдвэрлэлийн роботууд нь гурав болон түүнээс олон үеийн тэнхлэгийн хөдөлгөөн хийх чадамжтай, программчлагдах автоматжуулсан робот юм [6]. Үйлдвэрлэлийн роботууд нь гагнуур хийх, будаг будах, угсрах, задлах, “PCB” буюу “printed circuit board”-ын элементүүдийг суулгах ба буцааж авах, савлах, шонголох, бүтээгдэхүүний шалгалт хийх зэрэг олон ажилд ашиглагдаж байна [7]. Хурдтай, нарийвчлал сайтай, удаан эдэлгээтэй гэх мэт олон давуу талуудтай байдаг.

## III. СУДАЛГААНЫ ХЭСЭГ

### 1. Музейн хөтөч роботын судлагдсан байдал

Хүний өдөр тутмын амьдралд туслах автомат роботыг зохион бүтээх нь хиймэл оюун ухаан болон робот судлаачдын гол зорилго байсаар ирсэн. Анхны музейн роботын томоохон судалгааг Германы Бонн хотын Дутьшегийн музейд музейн хөтөч роботыг туршсан. Судалгааны ажилд “Rhino” буюу Хирс хэмээх автомат роботын талаар өгүүлсэн. Роботын хамгийн эхний даалгавар бол музейн зочид жуулчдад харилцах байсан бол нэмэлтээр веб интерфэйсийг ашиглан роботыг удирдах, тодорхой байрлал руу явуулж үзмэр үзэх

боломжийг дэлхийн бүх хүмүүст олгож байсан. Роботыг бүтээхдээ нэгдүгээрт аюулгүй найдвартай жолоодлого, хоёрдугаарт хүмүүстэй сэтгэл татам байдлаар харилцах гэсэн хоёр гол сорилттой тулгарч байсан.



Fig. 2: Interaction with people

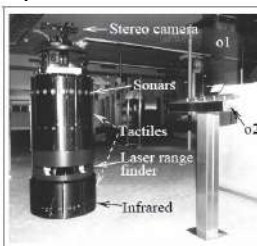


Fig. 3: The Robot and its sensors.

4-р зураг. Музейн хөтөч “Rhino” туршилтын робот

Энэ нь янз бүрийн саадуудтай (үзмэрүүд, хүмүүс) мөргөлдөхгүйгээр хүний алхах хурдтай ойролцоо хурдаар роботыг жолоодох нь хамгийн чухал юм.

Хирс роботын жолоодлогын модуль нь хоёр үндсэн үүргийг гүйцэтгэдэг. “Perception” буюу мэдрэгч болон удирдлага. Анхдагч мэдрэгч модуль нь “localization” буюу байршил тодорхойлохтой холбоотой (роботын байршлыг тооцоолох) болон “mapping” буюу газар зүйн байршлын зураглалт юм (орчин тойрны саадуудын байршлыг тооцоолох). Анхдагч удирдлагын бүрдэл хэсгүүд болох “real time collision avoidance” буюу бодит хугацааны мөргөлдөлтөөс сэргийлэлт, “path planning” буюу зам төлөвлөлт, ба “mission planning” буюу даалгавар төлөвлөлтийг энэхүү судалгааны ажлаар гүйцэтгэсэн байна [8].

Пеппер робот бол дэлхийн хамгийн анхны хүний суурь сэтгэл хөдлөл, нүүр царайг таних чадвартай хүн дүрст робот юм. Пеппер нь хүмүүстэй харилцахад зориулагдсан бөгөөд мэдрэгчтэй дэлгэц болон харилцан яриагаар хүмүүстэй шууд харилцах боломжтой. Энэ робот дэлхий даяар 2000 гаруй компаниудад зочдыг хүлээн авах, угтах, хөтөчлөх, мэдээлэл өгөх шинэлэг арга зам болон нэвтэрсэн байна [9]. Бидний хөгжүүлсэн харилцагчийн үйлчилгээний роботын үндсэн санааг “Soft” банкны хөгжүүлсэн пеппер угтагч роботоос авсан.



5-р зураг. Пеппер робот

## 2. Автомат хөдөлгөөнт роботын системийн судалгаа

Автомат хөдөлгөөнт роботын систем нь олон төрлийн роботын удирдлагын төхөөрөмж, мэдрэгчүүд, гүйцэтгэх механизм, харилцагчийн интерфейс, эх бие зэрэг үндсэн элементүүдээс тогтоно. Энэхүү туршилтын хүрээнд автомат хөдөлгөөнт роботод гол анхаарлаа хандуулах болно. Автомат роботын системийн хөгжүүлэлтийг хийж гүйцэтгэхийн тулд удирдлагын төхөөрөмжөөр “Raspberry Pi 4 Model”, хөдөлгөөнт роботын загвараар “iRobot Create 2” программчлагдах роботыг сонгосон. Ингээд автомат хөдөлгөөнт роботын системд дуу боловсруулалт, мэдрэгчийн системийн боловсруулалт, зураас дагагч роботын программын боловсруулалтыг хийж гарсан үр дүнгээр динамик хөдөлгөөн, зам төлөвлөлт, харилцагчийн интерфэйсийн дизайн, удирдлагын алгоритмыг боловсруулан удирдлагын системийн программчлалыг “Python” хэл дээр гүйцэтгэсэн.

Энэхүү хөтөч роботод хос дугуйт дифференциал жолоодлогын аргаар удирдлагын програмыг гүйцэтгэсэн. Робот орчин тойрондоо байгаа саадаас зайлсхийх, аюулгүйгээр хүрэх цэгтээ хүрэхийн тулд түр зогсож хүлээлгийн горимд шилжих байдлаар хийгдсэн. Роботын онцлог бол хүнтэй адилтгах чухал хэл ярианы системийг микрофон болон спикерийн тусламжтайгаар гүйцэтгэсэн.

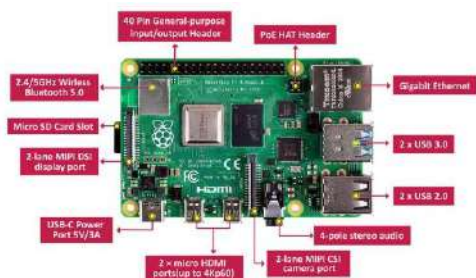
“iRobot Create” роботыг анх 2007 онд “Roomba” тоос цэвэрлэгч роботод суурилан “iRobot” компани үйлдвэрлэн анхны загвараа танилцуулсан бол 2014 онд илүү сайжруулсан “iRobot Create 2” роботын загвараа гаргасан. “iRobot” нь цуваа мэдээлэл дамжуулах “DB9” порт, дижитал оролт ба гаралт, аналог оролт ба гаралт болон цахилгаан тэжээлээр тоноглогдсон. Мөн 7 хөлтэй “mini-DIN” цуваа портоор мэдрэгчийн өгөгдлийг унших ба хөдөлгүүрт “iRobot Roomba Open Interface (ROI)” протоколоор удирдлагын командыг илгээдэг. Цуваа мэдээлэл дамжуулалтын порт нь мэдрэгчийн өгөгдлийг дамжуулах, удирдлагын командыг хүлээн авах боломжтой ба цуваа мэдээлэл дамжуулалтыг дэмждэг бүх төрлийн эмбэддэд компьютерыг удирдлагын төхөөрөмжөөр ашиглах боломжтой. Энэ робот нь “Arduino” болон “Raspberry Pi” зэрэг нэмэлт удирдлагын төхөөрөмжтэй хослон ажиллах боломжтой [10].



6-р зураг. “iRobot create 2” хөдөлгөөнт роботын систем

“Raspberry Pi 4” бол Их Британийн “Raspberry Pi” сан болон “Broadcom”-тай хамтран хөгжүүлсэн нэг хавтант компьютерын цувралууд юм. “Raspberry Pi” анхандаа сургуулиудад компьютерын шинжлэх ухааны үндэс суурийг заах зорилгоор хэрэгжүүлсэн төсөл юм. Анхны загвар нь маш алдартай болсон ба гадаад зах зээлд робот хөгжүүлэлтэд хэрэглэгдэх болжээ. Энэ төхөөрөмжийг маш өргөн хүрээнд ашиглах боломжтой. Тухайлбал цаг агаарын хяналтад хэрэглэдэг бөгөөд энэ нь бага зардалтай, нээлттэй загвараар, модульчилагдсан байдаг. Энэ төхөөрөмжийг үндсэндээ компьютер болон электроник сонирхогчид өргөн хэрэглэж байна [11].

Загваруудын цувралуудаас дурдвал “Raspberry Pi Zero” анх 2015 онд танилцуулагдсан. Түүний дараа “Raspberry Pi 3 B+” загвараа 2018 танилцуулсан бол “Raspberry Pi 4 B” загвараа 2019 онд танилцуулсан. Мөн “Raspberry Pi Pico” загвараа 2021 онд танилцуулсан. “Raspberry Pi Zero 2 W” загвараа 2021 онд танилцуулсан [12]. Эндээс туршилтын роботын загварт “Raspberry Pi 4 B” загварыг сонгон авч ашигласан.



7-р зураг. “Raspberry Pi Model 4”

“Raspberry Pi 4 Model B” 2019 онд танилцуулагдсан. 1.5 ГГц -ийн 64 бит дөрвөлсөн цөмт “Quad core Cortex-A72” (ARMv8) процессортой, 2ГБ, 4ГБ, эсвэл 8ГБ “LPDDR4-3200 SDRAM”, хавтандаа “2.4 ГГц болон 5 ГГц IEEE 802.11ac WIFI”, “Bluetooth 5.0 BLE” болон 2 ширхэг “USB 3.0”, 2 ширхэг “USB 2.0” “Gigabit Ethernet”, 2 ширхэг микро “HDMI” порт, 2 сувгийн “MIPI DSI” дэлгэцийн порт, 2 сувгийн “MIPI CSI” камерын порт, 4 туйлт стерео дуу болон видео порт, “Micro SD” карт уншигч, 5 Вольтын “USB-C” төрлийн тэжээл холбогч суурилагдсан. Ажиллах орчны нөхцөл нь 0-50°C температурын орчинд ажиллах боломжтой [13].

### 3. Дууны боловсруулалт

Хүн хоорондын харилцааны хамгийн чухал хэрэглүүрийн нэг бол дуу авиа юм. Дуу авиа нь хүмүүс, амьтад хоорондоо ойлголцох, харилцах мэдээлэл солилцох голлох үүрэгтэй.

Орчин үед дуу авианы боловсруулалтыг “Microsoft”, “Google”, “Chimege” зэрэг компаниудын хөгжүүлсэн төлбөртэй болон үнэ төлбөргүйгээр ашиглах боломжтой “API” буюу “Application Program Interface” гарч ирсэн. Яриа танилтын технологийг ашиглан үндсэндээ яриаг текст руу хөрвүүлэх, текстийг яриа руу

хөрвүүлэх гэсэн үндсэн 2 функц бий болсон. 8-р зурагт дуу танилтад ашигласан микрофоныг харуулав.

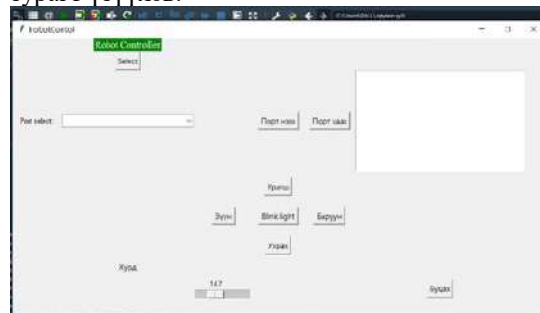


8-р зураг. Дуу боловсруулалтад ашигласан микрофон

Манай роботын хувьд хэрэглэгч, зочид, үйлчлүүлэгчтэй харилцахдаа яриаг текст руу хөрвүүлэхдээ “Google” –ийн “speech recognition API” ашиглан хөгжүүлэлтийг гүйцэтгэсэн. “Speech recognition” нээлттэй санг ашиглан “Python” хэл дээр гүйцэтгэсэн. Харилцан ярилцахын тулд Монгол инженерүүдийн хөгжүүлсэн “Chimege API” ашиглан текстэн мэдээллийг яриа руу хөрвүүлэн уг мэдээллийг робот боловсруулан харилцан яриа хийх, мэндчилгээ хийх, угтах, танилцуулга хийх, зэрэг функцүүдэд ашигласан. Дууны файл нь “waveform audio file format” буюу “wav” стандартаар микро компьютерт хадгалагдсан.

### 4. Хэрэглэгчийн интерфэйс

Хэрэглэгч, зочид үйлчлүүлэгчид мэдээллийг хүргэх арга нь гар утас, компьютерын техникийн ачаар улам боловсронгуй болсон. Музейн хөтөч роботын цээж хэсэгт музейн үзмэрийн танилцуулга агуулсан динамик мэдээллийн санг агуулсан дэлгэц байрлах боломжтой. Манай робот 7 инчийн “Raspberry Pi”-д зориулагдсан дэлгэц ашигласан. Жишээ болгон хөтөч роботын дэлгэцэд хэрэглэгчид зориулсан роботын удирдлагын командууд гүйцэтгэх боломжтой хэрэглэгчийн интерфэйсийн загварыг хөгжүүлснийг 9-р зурагт үзүүлэв.



9-р зураг. Хэрэглэгчийн интерфэйсийн загварчлал

### 5. Музейн хөтөч тайлбарлагч туршилтын роботын систем.

Роботын эх бие хэсэгт дэлгэц байрлана. Роботын их бие дотор микрофон болон спикер байрлах ба микрофоны тусламжтайгаар харилцагчийн ярианы танилт хийх ба харилцагчтай программчилсан үгсийн сангийн

хүрээнд спикерийн тусламжтайгаар харилцах, хариу үйлдэл үзүүлэх чадвартайгаар “Python” хэл дээр программыг гүйцэтгэсэн.

Хөдөлгөөнт роботын систем нь музейн роботыг үзмэрүүдийн байрлал тус бүр дээр очиж мэдээлэл танилцуулах зорилгоор хөдөлгөөнт роботын удирдлагын системийг хөгжүүлсэн. Анхны туршилтын загвараар программчлагдах боломжтой “iRobot Create 2” программчлагдах робот системийг ашиглан даалгаврыг гүйцэтгэх туршилтыг хийсэн.

Энэхүү роботын систем нь компьютер эсвэл микроконтроллёрээс илгээсэн мэдээллийг цуваагаар мэдээлэл дамжуулах кабелиар хүлээн авдаг. Хөдөлгөөнийг программчлах, дуу болон “ЛЭД” дэлгэцтэй, роботын олон төрлийн сенсорын мэдээллийг унших боломжтой. Компьютер, микроконтроллер зэрэг гаднын төхөөрөмжтэй холбогдох, сенсор гүйцэтгэх механизмтай холбох зэргээр төхөөрөмж нэмж өөрийн хүссэнээр өргөтгөл хийх боломжтой.



9-р зураг. Музейн хөтөч тайлбарлагч туршилтын робот

Роботын дэлгэцэд хэрэглэгчид чухал хэрэгцээтэй байж болохуйц чухал мэдээллүүд байршина. Тухайлбал бүтээгдэхүүн үйлчилгээний танилцуулга, мэдээ зарлал, төрөл бүрийн вэбсайт, хаяг байршлын мэдээлэл, “FAQ” буюу олон давтагддаг асуултуудын хариултууд гэх мэт төрөл бүрийн харилцагчид хэрэгтэй контент байрших боломжтой.

Роботын суурь хэсэг нь хос дугуйт дифференциал жолоодлого бүхий автомат хөдөлгөөнт роботын системтэй. Хөдөлгөөнт роботын систем нь дугуйт роботын загвараар хийгдсэн ба роботыг нэг байрлалаас нөгөө байрлалд шилжих хөдөлгөөн хийж, тусгай маршрутдын дагуу шилжилт хийх бололцоог

хангана. Мөн роботод аюулгүй байдлыг хангахад зориулсан хана болон эд зүйл хүнтэй хүрэлцэхэд мэдрэх “bumper” мэдрэгч болон хар зураас дагаж хөдлөхөд зориулагдсан хэт улаан туяаны мэдрэгч байрласан. Энэ систем нь бодит хугацаанд удирдлага, хяналт хийх ба элдэв саадыг мэдрэх, аюулгүй байдлаа хангах чадвартай байна. Хар зураасны дагуу нэг байрлалаас нөгөөд шилжих хөдөлгөөнийг хийх чадвартай байхаар “Python” хэл дээр программыг гүйцэтгэсэн

#### **IV. ТУРШИЛТИЙН ҮР ҮН**

Туршилтыг гүйцэтгэхдээ “iRobot Create 2” роботыг ашигласан. Энэ робот зориулагдсан “rucreate2” нээлттэй санг ашиглан “Python” хэл дээр программчилсан. Туршилт эхлэхийн өмнө автомат роботыг анхны буюу эхлэх байрлалд байрлуулж роботыг асаана. Автомат роботын зам төлөвлөлтийг хийхдээ музейн үзмэр бүрийн дэргэд зогсоолтой, зогсоол бүр нь хоорондоо хар зураасаар холбогдсон байна. Автомат робот нь хэт улаан туяаны мэдрэгчийн тусламжтайгаар хар зураасыг даган хөдөлгөөн хийдэг. Робот ямар нэг саадтай тулгарвал зогсож тодорхой хугацаанд хүлээгээд хөдөлгөөнөө үргэлжлүүлэх боломжтойгоор программчилж өгсөн. Робот зураас дагагч мэдрэгчүүд хар зураас дээр ирсэн тохиолдолд зогсож музейн үзмэрийн танилцуулга тайлбарыг спикерээр тоглуулна. Энэ мэтээр үзмэр тус бүрийн байрлалд очиж, үзмэрийн танилцуулга хийсний дараа анхны байрлалдаа буцаж ирэх программыг гүйцэтгэсэн. Энэ зам төлөвлөлтийн алгоритмын дагуу роботын хөдөлгөөнийг удирдсан. Роботын хөдөлгөөний зам төлөвлөлтийн дараагийн нэг шатаар ахиулах арга нь 360 градусаар орчны мэдээллийг хүлээн авах боломжтой “LIDAR” мэдрэгчийг ашиглах явдал юм. Энэ мэдрэгч нь нэлээд үнэтэй учир энэ туршилтын робот ашиглаагүй нь манай роботын сул тал болж байна.

Робот зогсож байхдаа бодит хугацаанд харилцагчтай дуу авиагаар харилцах боломжтой байна. Роботын дуу боловсруулалт нь “online” орчинд ажиллана. Онлайн орчинд дуу танилтыг хийхийн дутагдалтай тал нь дуу авианы мэдээллийг бичиж аваад “Google” яриа танилтын сервер луу дамжуулна. Энэ сервер нь дуу авианы мэдээллийг боловсруулан дууг текст хэлбэрээр хөрвүүлэн удирдлагын компьютерт илгээнэ. Энэ текстэд мэдээллийг роботын программчилсан алгоритмын дагуу тохирох хариултыг спикерээр дамжуулан тоглуулна. Иймээс дуу авианы бичиж авсан файлын хэмжээнээс шалтгаалан текст мэдээллийг хүлээн авах хугацаа харилцан адилгүй байна. Энэ дутагдалтай талыг сайжруулахын тулд “offline” орчинд ажиллах



дуу боловсруулалтын санг үүсгэх шаардлагатай юм. Оффлайн сангийн нэг дутагдалтай тал нь олон мянган дуу авианы өгөгдлийг байршуулах учраас санах ой ихээр шаардана. Орчин үед оффлайн орчинд ажилладаг дуу боловсруулалтын “Vosk” зэрэг сангууд хөгжүүлэгдсэн байгаа хэдий ч энэ нь зөвхөн англи хэл болон бусад цөөн тооны хэл дээр ажилладаг байна. Иймээс Монгол хэлний үгсийн санг багтаасан дуу боловсруулалтын санг хөгжүүлэх нь нэгэн тулгамдаж буй асуудал болоод байна.

## V. ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгааны ажлаар “iRobot Create 2” хөдөлгөөнт робот болон “Raspberry Pi 4 B+” компьютерын тусламжтайгаар “Python” хэл дээр дуу боловсруулалт хийсэн ба роботын зам төлөвлөлтийг зураас дагагч робот байдлаар автомат удирдлагыг хэрэгжүүлсэн. Уг хөдөлгөөнт роботын системд тулгуурлан үйлдвэрлэл, үйлчилгээний зориулалттай роботыг зохион бүтээх, цаашид хэрэглээнд нэвтрүүлэх боломжтой гэдэг нь харагдаж байна. Музейн хөтөч роботын системийг илүү боловсронгуй болгохын тулд зам төлөвлөлт, автомат удирдлагын загварт “LIDAR” технологийг ашиглах нь зүйтэй. Музейн хөтөч роботын системд дуу боловсруулалтыг ашигласнаараа хүнтэй харилцах чадвартай робот болох бүрэн боломжтой. Мөн хэрэглэгчийн интерфэйсийн дэлгэцтэй байх нь маркетинг, бүтээгдэхүүн үйлчилгээний чанар хүртээмжийг сайжруулах, хэрэглэгчдийг татах зэрэг олон давуу талыг үйлчилгээний байгууллагад үүсгэх нь дамжиггүй юм.

## VI. НОМ ЗҮЙ

- [1]. Critchlow, A J. Introduction to robotics. United States: N. p., 1985. Web.
- [2]. Wirtz, Jochen & Kunz, Werner & Paluch, Stefanie. (2021). The Service Revolution, Intelligent Automation and Service Robots. 38-44.
- [3]. Service Robotics Market Size Report and Industry Forecast, Fortune Business Insights, 2020.  
<https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/service-robotics-market-101805>
- [4]. Hu, J.; Bhowmick, P.; Lanzon, A., "Group Coordinated Control of Networked Mobile Robots with Applications to Object Transportation" IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2021.
- [5]. Hu, J.; Bhowmick, P.; Jang, I.; Arvin, F.; Lanzon, A., "A Decentralized Cluster Formation Containment Framework for Multirobot Systems" IEEE Transactions on Robotics, 2021.
- [6]. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en>
- [7]. C. Jayawardena, I. H. Kuo, U. Unger, A. Igic, R. Wong, C. I. Watson, R. Q. Stafford, E. Broadbent, P. Tiwari, J. Warren, J. Sohn, B. A. MacDonald, "Deployment of a service robot to help older people", Intelligent Robots and Systems (IROS) 2010 IEEE/RSJ

- International Conference on, pp. 5990-5995, 2010.
- [8]. Burgard, Wolfram, et al. "The interactive museum tour-guide robot." Aaai/iaai. 1998.
- [9]. Pepper the humanoid and programmable robot | SoftBank Robotics
- [10]. <https://www.store.irobot.com/default/create-programmable-programmable-robot-irobot-create-2/>
- [11]. [https://en.wikipedia.org/wiki/IRobot\\_Create](https://en.wikipedia.org/wiki/IRobot_Create)
- [12]. [https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry\\_Pi](https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi)
- [13]. <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/>

## ЦАХИЛГААН ДАМЖУУЛАХ ШУГАМЫН ТООН ХАМГААЛАЛТЫН ЗАГВАРЧЛАЛ

Э.Мөнх-Эрдэнэ<sup>1</sup>, Н.Нямсүрэн<sup>2</sup>, М.Баттулга<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Монгол улс, Улаанбаатар, Сэргээгдэх Эрчим Хүчний Үндэсний Төв

<sup>2</sup>Монгол улс, Улаанбаатар, Эрчим Хүчний Яам

<sup>3</sup>Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Цахилгааны инженерийн салбар  
e.munkherdene1220@gmail.com, nyamsaa1221@gmail.com, battulga@must.edu.mn

*Хураангуй*–Цахилгаан эрчим хүчний системийн үндсэн тоноглолууд болох генератор, трансформатор, цахилгаан дамжуулах шугам болон цахилгаан хэрэглэгч болох их чадлын цахилгаан хөдөлгүүрүүдийн хамгаалалтад хамгийн өргөн хэрэглэгддэг хамгаалалт нь гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалт юм. Энэхүү хамгаалалтын найдвартай, хурдан ажиллагааг хангахын тулд хамгаалалтын тавилын утга, хугацаа үржүүлэгчийн тохиргоо, урвуу характеристик болон бусад тохиргоог зөв тохируулан сонгох хэрэгтэй. Үгүй бол хамгаалалт буруу ажиллах эсвэл буруу таслах команд илгээх боломжтой. Тиймээс урвуу хугацааны характеристиктай гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалтыг сонгон авч Matlab программын Sim Power System-г ашиглан цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалтыг загварчилж туршлав. Туршилтын үр дүн болох гэмтлийн үеийн шугамын хүчдэл, гүйдлийн утгууд болон хамгаалалтын ажиллагааны төлөвийн гаралт зэргийг графикаар харуулав.

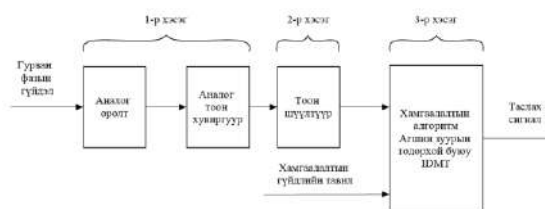
*Түлхүүр үг*–Реле хамгаалалт, хугацаа барилт, урвуу хугацааны характеристик, стандарт урвуу, маш урвуу.

### I. ОРШИЛ

Эрчим хүчний системийн тоног төхөөрөмжийг найдвартай, тасралтгүй ажиллуулахад өртгийг бууруулах, ашиглалтын хугацааг уртасгахад эрчим хүчний системийн тоног төхөөрөмжийн засвар үйлчилгээ, реле хамгаалалт нэн чухал юм. Реле хамгаалалтын хэрэглээ, ашиглалтын үүднээс авч үзвэл орчин үеийн тоон хамгаалалтуудыг ойлгох, өгөгдсөн хамгаалалтын функцийг ашиглах зөв арга замыг тодорхойлох, тохиргоог тооцоолох, эцэст нь реле хамгаалалтын дизайн, хэрэглээний туршилтыг сайжруулах. Боловсролын үүднээс авч үзвэл, сурагчид өгөгдсөн реле хамгаалалтын функцийн алгоритмыг дуурайх (загварчлах), хэрэгжүүлэх (хөгжүүлэх) болон судлах (турших) замаар хамгийн сайн суралцдаг тул дизайн болон хэрэглээний асуудлууд чухал юм. Дээр дурдсан бүх хэрэгцээг нэг програмчлалын орчинд загварчлах, турших хэрэглүүрээр хангах боломжтой бөгөөд энэ нь энэхүү баримт бичгийн үндсэн зорилго юм.

### II. ГҮЙДЭЛ ИХСЭЛТИЙН ХАМГААЛАЛТЫН ФУНКЦ

Урьдчилан тогтоосон утгаас (тавилын утга) гүйдэл нь хэтэрсэн үед ажиллах буюу объектыг хамгаалалтаар таслах функцийг гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалт гэнэ. Гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалт нь цахилгаан эрчим хүчний системийг богино залгаа, газардлага, хэт ачаалал гэх мэт гүйдлийн ихсэлт болон гэмтлээс хамгаалдаг [1].



1-р зураг. Гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалтын блок диаграмм.

Нэгдүгээр зурагт үзүүлсэн блок диаграмм нь гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалтын функцийг гурван үндсэн функционал бүрэлдэхүүн хэсгийг харуулав.

#### A. Хугацааны барилтгүй гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалт

ЦДАШ дахь гэмтлийн гүйдэл нь гэмтлийн байршлаас ихээхэн хамаардаг бөгөөд үүсгэгчээс холдох тусам буурдаг. Иймээс үүсгэгчтэй ойр гарсан гэмтлийг хурдан хугацаанд арилгах хэрэгтэй ба хугацаа барилтгүй гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалт нь 10мсек-д ажиллаж гэмтлийн гүйдлийг таслах боломжтой [2]. Энэхүү хамгаалалтыг түгээх сүлжээний шугамуудад үндсэн хамгаалалтаар ашигладаг.

$$I_{x.a} = K_n \times I_{min} \quad (1)$$

үүнд:  $I_{x.a}$  – хамгаалалтын ажиллах гүйдэл,  $K_n$  – найдваржилтын коэффициент,  $I_{min}$  – онолын хамгийн бага гүйдлийн тохиргоо (богино залгааны гүйдлүүдийн аль ихээр нь сонгож авна).

**В. Тогтмол хугацаа барилттай гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалт**

Энэ төрлийн гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалт нь нөөц хамгаалалтаар ашиглагддаг. Жишээлбэл цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын үндсэн хамгаалалт нь зайн хамгаалалт байхад тодорхой хугацаа барилттай гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалтыг нөөц хамгаалалтаар тавьдаг. Хэрэв зайн хамгаалалт шугаман дээр гарсан гэмтлийг арилгахгүй буюу таслуурыг таслахгүй бол тодорхой хугацааны дараа гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалт таслуур руу таслах командыг өгнө. Энэ тохиолдолд гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалт нь тодорхой хугацааны хоцрогдолтой байх бөгөөд энэ нь үндсэн хамгаалалтын хэвийн ажиллах хугацаа, таслуурын таслах хугацаанаас гадна нөөц хугацааны хоцрогдлоор л илүү байна.

**С. Урвуу хугацааны характеристиктай гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалт**

Урвуу хугацааны характеристиктай гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалтын ажиллах хугацаа нь гэмтлийн гүйдэлтэй урвуу хамааралтай байдаг. Хэрэв гэмтлийн гүйдэл их байвал ажиллах хугацаа бага байх болно. Эдгээр стандартууд нь ANSI, IEEE, IEC эсвэл хэрэглэгчийн тодорхойлсон байж болно. Реле нь шинж чанарын муруй ба тэдгээрийн харгалзах параметрууд(1-р хүснэгт)-ийг ашиглан ажиллах хугацааг тооцоолдог. Дээр дурдсан стандартуудын аль нэгийг нь гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалтын урвуу хугацааны характеристикаар ашиглаж болно. Дараа нь урвуу хугацааны характеристиктай гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалт нь тухайн шинж чанарын муруйд тохирсон ажиллах хугацааг тооцоолно. IEC 60255 эсвэл BS142 стандартын дагуу хугацааны шинж чанарыг дараах тэгшитгэлээр илэрхийлнэ [3].

$$T = \frac{C}{I_s^{\alpha-1}} \times TMS \quad (2)$$

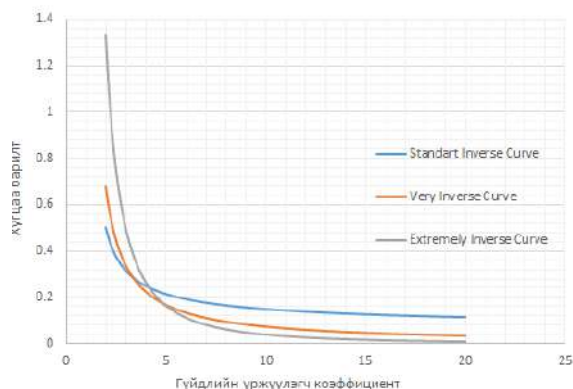
үүнд: T – Хамгаалалтын ажиллах хугацаа; C – хамгаалалтын характеристикийн коэффициент;  $\alpha$  – урвуу хугацааны характеристикийн төрлийн коэффициент ( $\alpha > 0$ );  $I_s$  – хамгаалалтын тавил; I – хэмжилтийн гүйдэл; TMS – хугацаа үржүүлэгчийн коэффициент.

1-Р ХҮСНЭГТ. УРВУУ ХАРАКТЕРИСТИК МУРУЙНУУД

Урвуу характеристикийн төрлүүд	Стандарт	Характеристикийн тогтмолууд	
		$\alpha$	C
Standard Inverse	IEC	0.02	0.14
Very Inverse	IEC	1	13.5
Extremely Inverse	IEC	2	80
Long Inverse	IEC	1	120
Ultra Inverse	IEC	2.5	315.2
Extremely Inverse	IEEE	2	28.8

Very Inverse	IEEE	2	19.61
Moderately Inverse	IEEE	0.02	0.0515

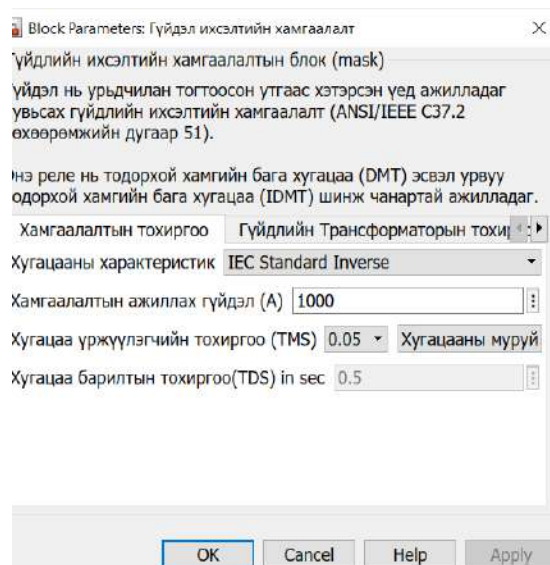
Хоёрдугаар зурагт зарим урвуу характеристикийн муруйнуудыг харуулав.



2-р зураг. Гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалтын блок диаграмм.

**III. ТУРШИЛТ ЯВУУЛАХ СИСТЕМ БОЛОН ХАМГААЛАЛТЫН ЗАГВАРЧЛАЛ**

Гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалтыг Matlab программын Simulink орчинд 4-р зурагт үзүүлсэн гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалтын ажиллагааны алгоритмын блок диаграммын дагуу ажилладаг хамгаалалтын математик загварыг үүсгэв. Энэхүү хамгаалалтын загвар нь гурван фазын гүйдлийн мэдээллээр хамгаалалтын ажиллах тавилтай харьцуулалт хийхээс гадна урвуу хугацааны характеристикийг сонгож боломжтой. Мөн тогтмол хугацаа барилт болон хугацааны үржүүлэгчийг өөрчилж тохируулах боломжтой(3-р зураг).

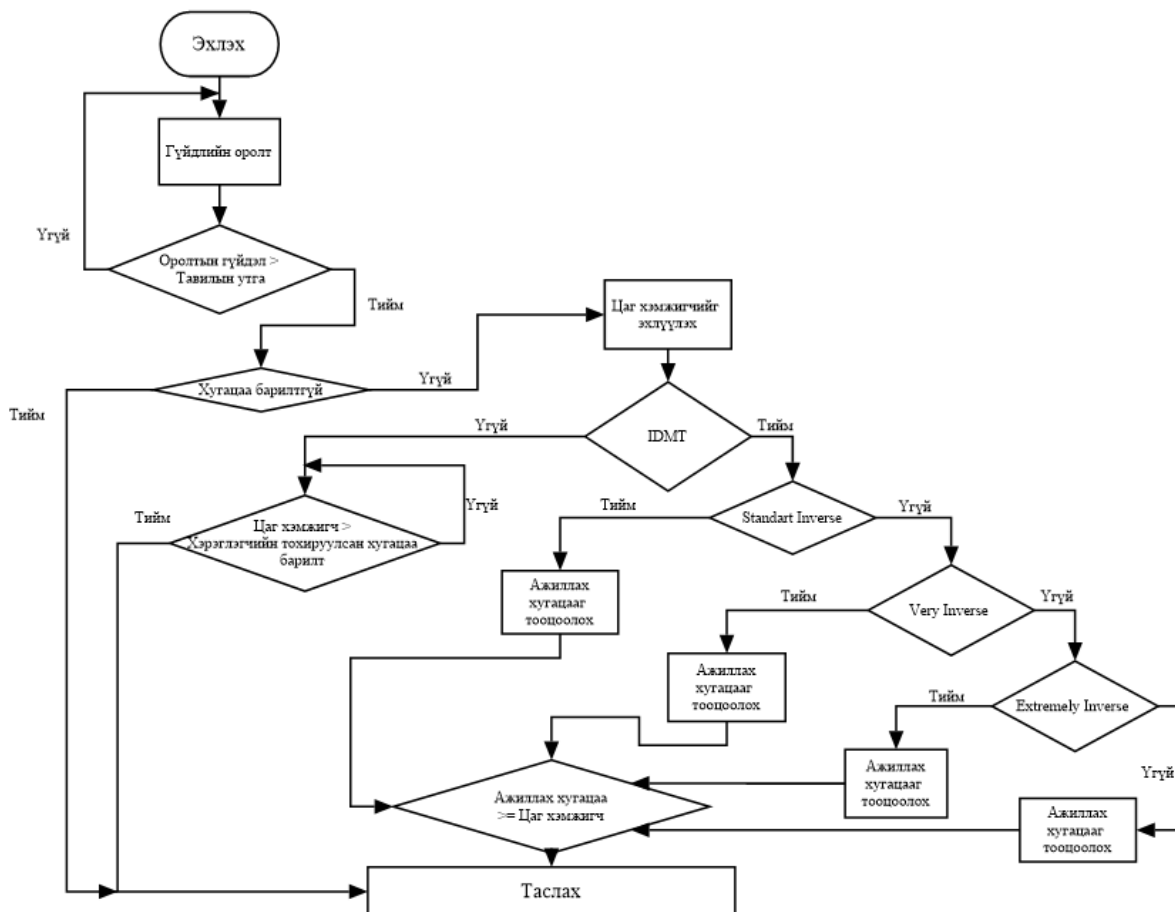


3-р зураг. Хамгаалалтын загварын тохиргоо хийх хэсэг.

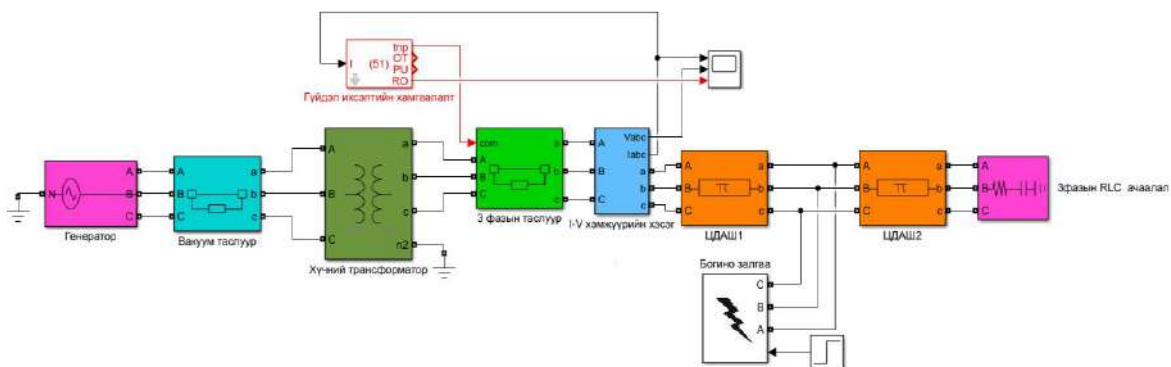
Гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалтын блокийг холбох, гэмтэл гарсан үед түүний шинж чанарыг судлах зорилгоор Sim Power System-д боловсруулсан туршилтын загварыг 5-р зурагт

харуулав. Туршилтын системийн бүрэлдэхүүн хэсгүүд нь:

- Генератор (50 Гц, 10.5 кВ).
- Хүчний трансформатор ( 50 Гц, 10.5/115 кВ, 125МВА ).
- Цахилгаан дамжуулах агаарын шугам. (100 км урттай).
- Богино залгааны блок (нэг фаз, хоёр фаз, гурван фазын богино залгаа болон газартай богино залгааг үүсгэнэ).
- Таслуур (гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалтын гаралтын дохиогоор ачааллыг таслах).
- Ачаалал (50 МВт чадалтай, гурван фазын RLC ачаалал).



4-р зураг. Гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалтын алгоритмын блок диаграмм.



5-р зураг. Туршилтын системийн загвар.

#### IV. ТУРШИЛТИЙН ҮР ДҮН

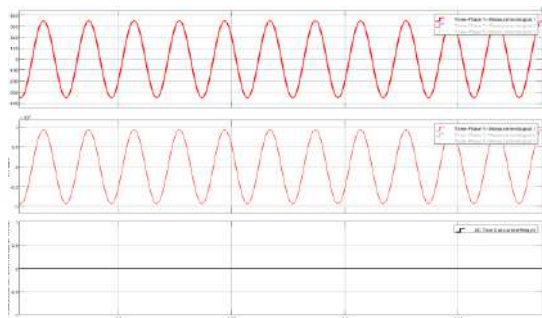
Гүйдлийн ихсэлтийн

хамгаалалтын загварын ажиллагааг шалгах зорилгоор загварчилсан системд хэвийн горим, гэмтлийн горимыг үүсгэж туршилтыг гүйцэтгэв. Туршилт гүйцэтгэж буй гүйдлийн хамгаалалтын ажиллах характеристик, тавил, тохиргооны утгуудыг 2-р хүснэгтэд үзүүлэв.

2-р ХҮСНЭГТ. ГҮЙДЭЛ ИХСЭЛТИЙН ХАМГААЛАЛТЫН ТОХИРГОО

Хамгаалалтын тохиргоо	Хугацааны характеристик	Standart Inverse
		Very Inverse
	Extremely Inverse	
	Хамгаалалтын ажиллах гүйдэл	1480A
	Хугацааны үржүүлэгч	0.05
Гүйдлийн трансформаторын тохиргоо	Гүйдлийн трансформаторын анхдагч гүйдэл	400
	Гүйдлийн трансформаторын хоёрдогч гүйдэл	1
	Үндсэн давтамж	50

Туршилтын системийн хэвийн горимын хэмжилтийг 6-р зурагт харуулав.



6-р зураг. Хэвийн горимын үеийн шугамын А фазын хүчдэл, гүйдлийн утгууд болон хамгаалалтын ажиллагааны төлөвийн гаралт.

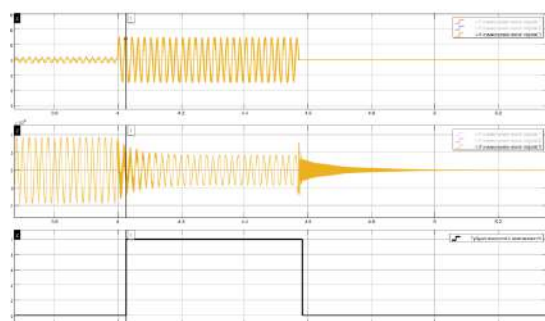
Цахилгаан дамжуулах шугамын дунд буюу 50км зайд болж байгаа гэмтлийн үед (1) томьёоны дагуу стандарт урвуу, маш урвуу, маш их урвуу характеристикиудын хугацаа барилтыг тооцоолж 3-р хүснэгтэд үзүүлэв.

3-р ХҮСНЭГТ. ТООЦООЛСОН ХАМГААЛАЛТЫН АЖИЛЛАСАН ХУГАЦАА

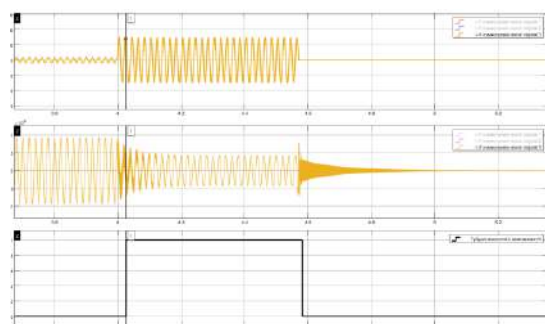
Хугацааны характеристик	Хамгаалалт-ын мэдэрсэн гүйдэл, А	Хамгаалалт-ын ажиллах хугацаа барилт
Стандарт урвуу	2878.52	0.5226
Маш урвуу	2878.52	0.7143
Маш их урвуу	2878.52	1.4374

Загварчилсан гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалтын дээрх гэмтлийн үед хамгаалалт идэвхэжсэн хугацаа, таслалт хийгдсэн хугацаа

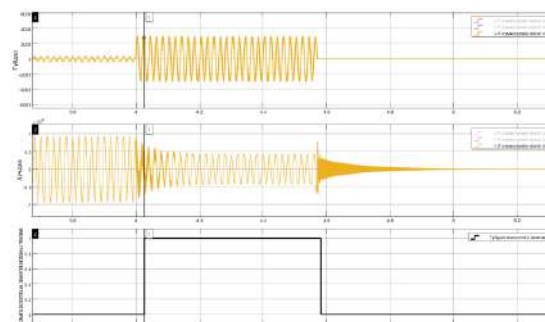
болон хамгаалалт идэвхжих үеийн гэмтлийн гүйдлийг 4-р хүснэгтэд харуулав. Мөн 7-с 9-р зурагт гэмтлийн үеийн гүйдэл, хүчдэлийн утгууд, хамгаалалтын ажиллагааны төлөвүүдийг харуулав.



7-р зураг. Гэмтлийн үеийн шугамын С фазын хүчдэл, гүйдлийн утгууд болон хамгаалалтын ажиллагааны төлөвийн гаралт (Стандарт урвуу хугацааны характеристиктай гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалтын туршилт).



8-р зураг. Гэмтлийн үеийн шугамын С фазын хүчдэл, гүйдлийн утгууд болон хамгаалалтын ажиллагааны төлөвийн гаралт (Маш урвуу хугацааны характеристиктай гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалтын туршилт).



9-р зураг. Гэмтлийн үеийн шугамын С фазын хүчдэл, гүйдлийн утгууд болон хамгаалалтын ажиллагааны төлөвийн гаралт (Маш их урвуу хугацааны характеристиктай гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалтын туршилт).

## V. ДУГНЭЛТ

Цахилгаан эрчим хүчний систем дээр гэмтэл болон хэвийн бус горимын бодит туршилт гүйцэтгэхэд хүндрэлтэй байдаг тул энэ судалгааны ажилд эдгээр горим болон гэмтлүүд дээр ажиллах реле хамгаалалт, анхдагч схемийг загварчилж туршилт гүйцэтгэсэн.

Реле хамгаалалтын загварчлалд ЦДШ-ын гүйдлийн ихсэлтийн хамгаалалтыг тогтмол хугацааны барилт, урвуу хугацааны барилттай характеристикүүдыг оруулсан. Эдгээр характеристикүүд болох Standart Inverse, Very inverse болон Extremely Inverse характеристикүүдын ажиллагааг туршихад (хэвийн горимын үеийн параметрүүдийн утгуудыг 6-р зураг, гэмтлийн үеийн параметрүүдийн утгуудыг 7-с 8-р зургаас харна уу) гэмтэл болсноос хойш 0.011 секундэд мэдэрч, 2878.52A гүйдлийн утгыг хэмжиж авсан бөгөөд тавилын тооцоогоор хамгаалалтын хугацаа барилт 0.5226, 0.7143, 1.4374 секунд байсан ба гэмтэл гарснаас хойш 0.5376, 0.7293, 1.4524 секундийн дараа шугамыг тасалж гэмтлийг устгасан.

Бидний загварчилсан гүйдлийн хамгаалалтын ажиллагаанаас харахад хамгаалалт гэмтэл гарснаас хойш 1 бүтэн 1 хагас үеийн дараа гэмтлийг мэдэрч байгаа нь хамгаалалтын мэдрэх хэсгийн загвар дутагдалтай байгааг илтгэж байна. Энэхүү дутагдлыг арилган цаашид хөгжүүлэлт хийх шаардлагатай. Харин хамгаалалтын тавил, тохиргоо болон системийн загварыг дурын байдлаар өөрчлөн турших боломжтой, мөн түүнчлэн шугамын гүйдэл ихсэлтийн хамгаалалтын ажиллагаа, олон төрлийн характеристикүүдын хэрэглээг онолын болон туршилтаар тодорхойлоход ашиглах бүрэн боломжтой гэж үзэж байна.

## VI. НОМ ЗҮЙ

- [1] Н.Цэвгээ, Ж.Арслан “Реле хамгаалалт, автоматикийн элементийн бааз” УБ, 2009 он.
- [2] Line differential protection RED670, Version 2.2 International Electrical Committee (IEC), Application manual.
- [3] <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1MRK505376UEN&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [4] Walter A. Elmore, "Protective Relaying Theory and Applications," ABB Power T&D Company Inc., Tech. Rep., 1994.
- [5] P. Maji, G. Ghosh. "Designing Over-Current Relay Logic in MATLAB", 2017.
- [6] The Math Works, Inc., "Using MATLAB". 2001.
- [7] The Math Works, Inc., "Sim Power System Blockset User's Guide", 2002.
- [8] Palla, S. ; Srivastava, A.K. ; Schulz, N.N. , "Hardware in the Loop Test for Relay Model Validation." Arlington, Virginia, USA: Electric Ship Technologies Symposium, 2007. ESTS '07. IEEE, May 2007.

- [9] Saran, A. ; Kankanala, P. ; Srivastava, A.K. ; Schulz, N.N. , "Designing and Testing Protective Overcurrent Relay using Real Time Digital Simulation." Edinburgh, Scotland: Grand Challenges in Modeling and Simulation, Summer Simulation Conference, June 2008.

## 6, 10 КВ-ЫН ЦАХИЛГААН ТҮГЭЭХ СҮЛЖЭЭНИЙ СААРМАГ ЦЭГИЙН ГАЗАРДЛАГЫН ГОРИМ, ТҮҮНИЙГ ӨӨРЧЛӨХ АСУУДАЛ

М.Очирсанаа<sup>1</sup>, Ц.Эрдэнэтуяа<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Монгол улс, Улаанбаатар, Сэргээгдэх Эрчим Хүчний Үндэсний Төв

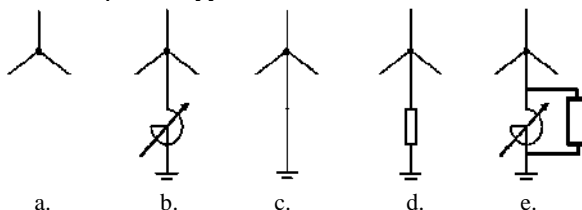
<sup>2</sup>Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Цахилгааны инженерийн салбар  
[msanaa60@yahoo.com](mailto:msanaa60@yahoo.com), [Erdenetuuya\\_ttt@yahoo.com](mailto:Erdenetuuya_ttt@yahoo.com)

*Хураангуй*–Монгол орны нөхцөлд 6, 10, 35 кВ-ын шугам сүлжээ нь тусгаарлагдсан саармаг цэгийн горимд ажиллана. 6-35 кВ-ын цахилгаан түгээх шугам сүлжээний саармаг цэгийн газардуулгын горим нь тухайн шугам сүлжээнд үүсэх дотоод хэт хүчдлийн түвшинг тодорхойлох бөгөөд дотоод хэт хүчдлийн хэмжээ ихэсхэд шугам сүлжээний найдвартай ажиллагаа муудаж, кабель шугам, трансформаторын гэмтэл эрс нэмэгддэг аюултай. Сүүлийн жилүүдэд манай улсын хот суурин газруудын хүн амын өсөлт илэрхий нэмэгдэж, цахилгаан түгээх бүх шугам сүлжээнүүдэд олон тооны хэрэглэгчид шинээр холбогдох болсноор насжилт өндөртэй дэд станц, хуваарилах байгууламжуудын үндсэн тоноглолуудын тусгаарлах хийцүүд аваарын болон ашиглалтын үед үүссэн дотоод хэт хүчдэлийг даалгүй гэмтэх явдал их хэмжээтэй гарах боллоо. Түүнчлэн сүүлийн 10 гаруй жилийн дотор шинээр суурилагдсан болон шинэчлэгдсэн өндөр хүчдэлийн кабель шугам сүлжээнүүдэд Хөндлөн хэрээст полиэтилен (XLPE) кабелийг илүү ихээр хэрэглэх болсон. Энэ төрлийн тусгаарлагатай өндөр хүчдэлийн хүчний кабелийн нэг фазын газардлагын үед үүсэх хэт хүчдэлийг тэсвэрлэх чадварыг оновчтой сонгох талаар ашиглалтын практик дутагдснаас болж гэмтэл, тасралтын тоо нэмэгдэх хандлагатай боллоо. Иймд бид энэхүү өгүүлэлээр 6-35 кВ-ын цахилгаан түгээх шугам сүлжээний саармаг цэгийн газардуулгын горимын онцлог, давуу ба дутагдалтай талууд, энэ төрлийн шугам сүлжээнд үүссэн дотоод хэт хүчдэлээс хамгаалах хэт хүчдэлийн түвшинг нь багасгах талаар олон улсын хэмжээнд хэрэгжүүлж байгаа туршлагыг Монгол орны түгээх сүлжээнүүдэд нэвтрүүлэх техник, технологийн боломжуудыг харуулахыг зорьсон болно.

*Түлхүүр үг*–нэг фазын газардлага, дотоод хэт хүчдэл, нум унтраах ороомог, өндөр ба бага Омын идэвхитэй эсэргүүцэл, саармаг цэгийн горим.

### I. ОРШИЛ

Дэлхий нийтийн практикт 1-69 кВ хүртэлх хүчдэлийн цахилгаан шугам сүлжээг дунд түвшний хүчдэлийн сүлжээ гэж нэрлэх бөгөөд ийм түвшний хүчдэл бүхий шугам сүлжээг 1-р зурагт үзүүлсэн таван төрлийн саармаг цэгтэйгээр ажиллуулдаг байна.



1-р зураг. Дунд түвшний хүчдэлийн шугам сүлжээний саармаг цэгийн газардуулгын горимууд (Тусгаарлагдсан саармаг цэг а), (Нум унтраах ороомогтой саармаг цэг б), (Гүн газардлууллагсан саармаг цэг с), (Идэвхит эсэргүүцэлтэй саармаг цэг d), (НУО болон R бүхий саармаг цэг e)

Саармаг цэгүүдийн газардуулгын эдгээр горимуудыг хэрэглэж байгаа дэлхийн зарим улс орнуудын жагсаалтыг 1-р хүснэгтэнд үзүүлэв.

1-Р ХҮСНЭГТ. Дэлхийн зарим улс орнуудын дунд түвшний (1-69 кВ) хүчдэлийн шугам

СҮЛЖЭЭНД ХЭРЭГЛЭГДЭЖ БАЙГАА СААРМАГ ЦЭГИЙН ГАЗАРДУУЛГЫН ГОРИМУУД

Улс орнууд	Саармаг цэгийн газардуулгын төрлүүд			
	Тусгаарлагдсан	НУО-той	Эсэргүүцэлтэй	Гүн газардууллагдсан
ОХУ	79%	19%	2%	
Австрали			+	+
Канад			+	+
АНУ			+	+
Испани		+	+	+
Португал			+	
Франц		+	+	
Япон	+		+	
Герман		+	+	
Австри		+	+	
Бельги			+	
Их Британи			+	+
Швейцар		+	+	
Финлянд	+	+	+	
Итали		+	+	
Чех		+	+	
Словак		+	+	
Швец		+	+	
Норвеги		+	+	
Монгол	80%	20%		

1-р хүснэгтээс харахад идэвхитэй эсэргүүцлээр газардуулагдсан саармаг цэгийн горим нь бүх улс орнуудад, харин НУО-той

саармаг цэгийн горим нь ихэнх орнуудад нэгэн зэрэг хэрэглэгдэж байна.

Тусгаарлагдсан саармаг цэгийн горимыг зөвхөн ОХУ, Финлянд мөн Монгол зэрэг улс хэрэглэж байгаа ба бусад улс орнуудад энэ горим хэрэглэгдэхээ больсон байна. ОХУ-д хийгдсэн судалгааны материалаас үзэхэд өнөөдөр ОХУ-ын 6,10,35 кВ-ын шугам сүлжээний зөвхөн 50-80% нь тусгаарлагдсан саармаг цэгийн горимыг хэрэглэж, сүүлийн үед шинээр баригдаж байгаа болон шинэчлэгдэж байгаа шугамуудад идэвхитэй эсэргүүцэл бүхий саармаг цэгт шилжих бодлогыг барьж эхэлсэн байна.

Гүн газардуулагдсан саармаг цэгийн горим нь зөвхөн АНУ, Канад, Австрали, Их Британ, Испани улсуудад 4-25 кВ-ын хүчдэлтэй агаарын шугамуудад хэрэглэгдэж байна. Мөн ОХУ-ын хувьд сүүлийн үед зарим бүс нутгийн шугам сүлжээнүүдэд энэ горим мөн хэрэглэгдэж эхэлж байна.

Нум унтраах Петерсений ороомог бүхий саармаг цэгийн горимыг Европын зарим орнууд, тухайлбал Герман, Австри, Швейцари, Финлянд, Чех, Словак зэрэг орнуудад агаарын шугам зонхилсон шугам сүлжээнд ихэвчлэн хэсэгчлэн хэрэглэж байгаа ба нум унтраах Петерсений ороомгийн зөвхөн ОХУ, Австри (TRENCH), Чех (EGE), Хятад (JUNFA), Энэтхэг зэрэг улсуудад үйлдвэрлэн гаргаж байна.

Сүүлийн үед ОХУ-д нум унтраах ороомгийн их Ом-ын идэвхитэй эсэргүүцлээр шунтлэн холбосон зэрэгцээ газардуулгатай саармаг цэгийн (НУО+R) горимыг өргөн хэрэглэх болсон байна.

## II. СУДАЛГААНЫ ХЭСЭГ

ЦШС-д чухам ямар төрлийн саармаг цэгийн горимыг сонгон авч ажиллуулах нь техник-эдийн засгийн тооцоогоор шийдэгдэх нарийн асуудал юм.

Тусгаарлагдсан саармаг цэгтэй шугам сүлжээний хувьд аль нэг шугаманд нэг фазын газардлага (НФГ) гарах буюу тэгш бус фазын горим бий болоход тухайн шугам сүлжээний эрүүл фазуудын хүчдэл шугамын хүчдэл  $\sqrt{3}U_{\phi}$  хүртэл нэмэгдэх ба үүнийг дагалдан коммутацийн болон НФГ-ын үеийн хэт хүчдэлүүд бас ихсэнэ. Үүний улмаас шугам сүлжээний тусгаарлах хийцүүд тухайлбал кабель, Трансформатор, конденсатор, оруулга зэргийн цахилгаан даацийг ихэсгэж, мөн хэт хүчдэлийн хязгаарлагч ОПН-уудыг нэмж тавих шаардлагыг бий болгоно. Ингэснээр өндөр хүчдэлийн тоноглолын үнэ өртөг нэмэгддэг байна.

Харин гүн газардуулагдсан саармаг цэг бүхий шугам сүлжээний хувьд нэг фазын газардлагын гүйдэл эрс нэмэгдэх тул үнэ өртөг өндөртэй таслах залгах аппаратуудыг тавьж, цахилгаан динамик даац өндөртэй тоноглолууд газардуулах байгууламжууд шаардагдах нөхцөлийг бүрдүүлэх тул цахилгаан шугам сүлжээний үнэ өртөг нь мөн л нэмэгдэх болно.

Энэ бүгдийг техник-эдийн засгийн тооцоогоор харьцуулан үзэж ОХУ, Финлянд, Монгол зэрэг орнуудад 6-35 кВ-ын дунд түвшиний хүчдэл бүхий хуваарилах шугам сүлжээнүүдэд тусгаарлагдсан саармаг цэгийн горимыг, харин 110 кВ ба түүнээс дээшхи өндөр хүчдэлийн дамжуулах сүлжээнүүдэд гүн газардуулагсан шугам сүлжээг хэрэглэж ирсэн байдаг.

Монгол улсын 6, 10, 35 кВ-ын цахилгаан түгээх сүлжээний хувьд бол газардуулгын гүйдэл их биш үед нь тусгаарлагдсан саармаг цэгийн горимыг, газардлагын гүйдэл 25-30 А-аас ихэссэн үед НУО-той горимуудыг хэрэглэж байна.

Саармаг цэгийн ийм төрлийн горимуудын гол давуу тал нь нэг фазын газардлага (НФГ) гарсан үед шугам сүлжээг автоматаар таслалгүйгээр, тодорхой хугацаанд (2 цаг хүртэл) газардлагатай чигээр нь хэвийн хүчдэлтэй бүрэн фазаар нь ажиллуулж, цахилгаан хангамжийг тасралтгүйгээр үргэлжлүүлэх бололцоотой байдаг явдал юм. Гэвч энэ давуу тал нь дараах сөрөг үзэгдлүүдийг авчирна. Үүнд:

1) Металл төрлийн НФГ-ын үед эрүүл фазуудын хүчдэл шугамын хүчдэл  $U_{\omega} = \sqrt{3}U_{\phi}$  (кВ) хүртэл нэмэгдэх тул тусгаарлах хийцүүдийн фазуудын тусгаарлагын түвшинг шугамын хүчдэлийг даахаар сонгож үйлдвэрлэх шаардлагатай болдог тул тусгаарлах хийцүүдийг үнэ өртөг нэмэгдэнэ.

2) Нэг фазын нуман газардлага (ННФГ)-ийн үед их хэмжээний хэт хүчдэл үүссэнээс болж, ННФГ нь хоёр, гурван фазын богино залгаа болох магадлал нь мэдэгдэхүйц нэмэгдэнэ. Энэ төрлийн доголдлын бүх аварид эзлэх хувийн жин нь 80% хүртэл өндөр байдаг байна.

3) НФГ-ийн үед шугам сүлжээнд их хэмжээний феррорезонансын хэт хүчдэл үүсч хүчдэлийн хэмжүүрийн трансформатор, цахилгаан хөдөлгүүрүүд болон бусад тоног төхөөрөмжүүд олноороо шатах аюул нүүрлэнэ.

4) НУО-ийг резонансын тохируулганд ажиллуулах үед маш бага газардлагын гүйдэл гүйх учраас газардлагын гэмтэлтэй шугамыг илрүүлж, олж таслах боломжгүй болно.

5) Цахилгаан шугам сүлжээ нь НФГ-ын үед автоматаар таслагдалгүй, зөвхөн дохиолол өгөх тул газардлага үүссэн цэгээр удаан хугацаанд гүйдэл гүйж, хүмүүс болон мал, амьтан цахилгаан гүйдэлд орох аюул байнга нүүрлэнэ.

Ихэнх улс орнууд тусгаарлагдсан саармаг цэгийн горимоос татгалзах болсон шалтгаан нь үндсэндээ дээрх заалтуудтай холбоотой юм.

6-35 кВ-ын цахилгаан шугам сүлжээ нь мөн бага Ом-ын буюу их Ом-ын идэвхитэй эсэргүүцлээр дамжуулан газардуулагдсан саармаг цэгийн горимд ажиллаж бас болно.



Шугам сүлжээнд НФГ гарсан үед тухайн шугамыг түргэн хугацаанд реле хамгаалалтаар шууд таслах шаардлагатай үед бага Омын эсэргүүцэл бүхий саармаг цэгийн горимыг хэрэглэнэ.

Бага Омын эсэргүүцэлтэй саармаг цэгтэй үед шугам сүлжээнд үүсэх хэт хүчдлийн түвшин мэдэгдэхүйц багасахын зэрэгцээ энгийн хямд төсөр хамгаалалтын схемээр НФГ-ын гэмтлээс шугамыг хамгаалах бололцоотой байдаг сайн талтай.

Саармаг цэгийн идэвхитэй эсэргүүцлийн хэмжээг сонгоходоо 6-10 кВ-ын шугам сүлжээнд газардлага үүсэх үед саармаг цэгээр гүйх идэвхитэй гүйдэл нь тухайн шугам сүлжээний газардлагын багтаамжийн гүйдлээс ямагт их байж, гэмтэлтэй шугам фидерийн газардлагын хамгаалалт найдвартай ажиллаж байхаар сонгоно. Энэ зарчмаар саармаг цэгийн идэвхитэй эсэргүүцэлийг тооцоолоход эсэргүүцэлийн утга нь 20-100 Ом хязгаарт ихэвчлэн гарах ба саармаг цэг дээрх эсэргүүцэлийн ийм утгын үед феррорезонансын хэт хүчдэл үүсч амжилгүйгээр хэлбэлзлэлийн процесс тайвширах болно.

Өндөр Омын идэвхитэй эсэргүүцэл бүхий саармаг цэг болон түүний НУО-той зэрэгцээ холболттой НУО-R схем бүхий саармаг цэгүүдийг дараах нөхцөлүүдэд хэрэглэх шаардлагатай. Үүнд:

- Нэг фазын газардлагын үед шугам сүлжээг таслалгүйгээр, түүний гэмтлийг олж арилгатай хүчдэлтэй ажиллуулах зайлшгүй шаардлага тавигдсан
- Гэмтлийн цэгээр гүйх газардлагын гүйдлийг НУО хэрэглэж хязгаарлах шаардлагатай болсон үе
- Нэг фазын металл болон нуман газардлага, бүрэн бус фазын горимын үеийн дотоод хэт хүчдэлийг бууруулах шаардлагатай болох
- НФГ-ын үед гүйх саармаг цэгийн гүйдлийг гэмтэлтэй шугамыг илрүүлж, реле хамгаалалтын дохиолол өгөх хэмжээнд хүртэл ихэсгэх шаардлага тавигдах зэрэг нөхцөлүүдэд НУО-өндөр Омын эсэргүүцлийн хослолыг хэрэглэдэг.

Сүүлийн үед 6-35 кВ-ын шугам сүлжээнд хөндлөн хэрээстэй полиэтилен кабель (Англиар XLPE кабель, Оросоор СПЭ кабель) кабелуудыг шинээр тавих шугамуудад өргөн хэрэглэх болсноос гадна олон жил ашиглагдсан цаас-тосон нэвчлэгтэй хуучин кабелуудыг мөн энэ төрлийн полиэтиленэн кабелаар эрчимтэй сольж ашиглаж байна.

Полиэтиленэн кабель олонтой шугам сүлжээний саармаг цэгийг сонгоход энэ материалын хуучралт ба ниргэлэгийн дараах онцлог үзэгдлүүдийг зайлшгүй харж үзэх шаардлагатай.

1) Өндөр хүчдэлийн XLPE маркийн полиэтиленэн тусгаарлага нь цаас-тосон тусгаарлага бүхий кабельтай харьцуулахад өндөр давтамжийн хэт хүчдэлийн үйлчлэлд тэсвэр муутай, олон цэгүүдээр ниргэлэгийн нахиа, мөчирүүд амархан үүсдэг онцлогтой.

2) XLPE тусгаарлагатай кабелуудад ашиглалтын явцад аянгын хэт хүчдэл, дотоод хэт хүчдэл, тогтворгүй нуман газардлагын хэт хүчдэл зэрэг давтамжаараа олон хэдэн арван килогерцээс хэд хэдэн мегагерц хүртэлх өндөр давтамжтай хэт хүчдэлүүд байнга үйлчилнэ. Энэхүү үйлчлэлийн улмаас полиэтиленэн тусгаарлага дотор “усан дамжууламж”-ийн болон бяцхан цахилгалтын жижиг сувагууд үүсч, идэвхитэй хуучралт явагдана. Полиэтиленэн тусгаарлагын гэмтэл согогууд нь өөрөө үл сэргэх процесс учраас энд тэндгүй ниргэлэгийн суваг үүсч, кабелийг солих шаардлага бий болно. Иймд кабелийн найтвартай ажиллагааг сайжруулах зорилгоор түүний зөвшөөрөгдөх ажлын хүчлэгийн хэмжээг багасгаж, тусгаарлагын зузааныг ихэсгэх хэрэгтэй болно.

3) Олон улсын цахилгаан техникийн хорооны IEC 60502-2 стандартын заалт ёсоор кабелийн ажлын хүчдэлийн түвшинг сонгоходоо тухайн шугам сүлжээнд НФГ хэр удаан хугацаанд үргэлжлэх, шугам сүлжээ ямар саармаг цэгийн горимтой ажиллахыг заавал тооцоолох шаардлагатайг дурьдсан байдаг.

Ялангуяа нэг фазын газардлагын үед ажиллах реле хамгаалалтын схем, бүтэц, хамгаалалт нь зөвхөн газардлагын дохиолол өгөхүү, аль эсвэл гэмтсэн шугам фидерийн шууд таслах уу гэдгээс кабелийн ашиглалтын насны тоо ихээхэн хамаарна.

4) Хэрэв 6-35 кВ-ын шугам сүлжээнд НФГ-ын горим удаан хугацаанд үргэжлэхээр бол тухайн шугам сүлжээнд тавигдах XLPE полиэтиленэн тусгаарлагатай кабелуудын ажлын хүчдэлийг тухайн шугам сүлжээний хэвийн хүчдэлээс нэг шатаар дээгүүр байхаар сонгох хэрэгтэй.

Тухайлбал 6 кВ-ын сүлжээнд 10 кВ-ын XLPE кабелийг, 10 кВ-ын сүлжээнд бол 15 кВ хүчдэлийн XLPE кабелийг хэрэглэх шаардлага тавигдаж байна.

Ингэснээрээ XLPE кабелийн ашиглалтын нас уртсах боловч өндөр давтамжийн хэт хүчдэлийн үеийн ниргэлэгийн сувгийн навч нахиа ор үүсэхгүй болно гэсэн үг биш юм.

5) Тухайн шугам сүлжээний полиэтиленэн тусгаарлагатай кабелуудын хэвийн хүчдэлийн түвшинг, шугам сүлжээний хүчдэлтэй нь яг тохируулан сонгосон тохиолдолд шугам кабелийн ашиглалтын насыг уртасгах зорилгоор НФГ-ын хамгаалалтыг хийхдээ

газардлага бүхий шугамыг эгшин зуур шууд тасладаг буюу аль эсвэл багавтар 1-2 сек-ийн хугацааны дараа тасладаг байх схемийг сонгоно.

Гэмтэлтэй шугамыг илрүүлж, түүнийг шууд тасладаг хамгаалалтын энгийн схемийг хэрэглэхийн тулд шугам сүлжээний саармаг цэгийг идэвхитэй эсэргүүцлээр газардуулах аргыг хэрэглэх шаардлагатай болно.

### Ш. 6, 10 КВ-ЫН ШУГАМ СҮЛЖЭЭНИЙ СААРМАГ ЦЭГ ДЭЭРХ БАГА ОМЫН ЭСЭРГҮҮЦЛИЙН ХЭМЖЭЭГ СОНГОХ

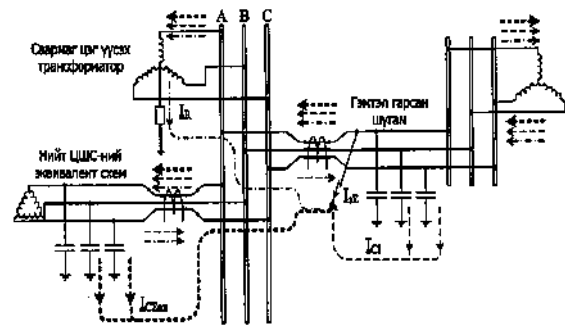
6,10 кВ-ын цахилгаан шугам сүлжээний саармаг цэг дээр байх бага омын эсэргүүцлийн хэмжээг сонгохдоо юуны өмнө нэг фазын газардлага гарсан үед реле хамгаалалтын төхөөрөмж найдвартай ажиллаж, гэмтэлтэй шугамыг таслах нөхцөлийг заавал бүрдүүлэх ёстой. Бага Омын эсэргүүцлийг саармаг цэг дээр залгасан үед нэг фазын газардлагын үед үүсэх идэвхитэй гүйдэл нь багтаамжийн гүйдлээсээ олон дахин их байх тул шугам сүлжээний нэг фазын нуман газардлагын үед үүсэх хэт хүчдэлийн хэмжээ мэдэгдэхүйц буурч  $(2.2-2.4)U_{\phi}$  хэмжээнд хүртэл багасна.

6,10 кВ-ын шугам сүлжээний аль нэг шугаманд нэг фазын газардлага гарсан үед тухайн гэмтсэн шугамын болон бусад шугам сүлжээний багтаамжийн гүйдлүүд мөн саармаг цэгээр гүйх идэвхитэй гүйдлүүдийн чиглэлийг 2-р зурагт үзүүлж, түүнд харгалзах гүйдэл, хүчдэлүүдийн векторын диаграммуудыг 3-р зурагт харьцуулан зурж үзүүлэв.

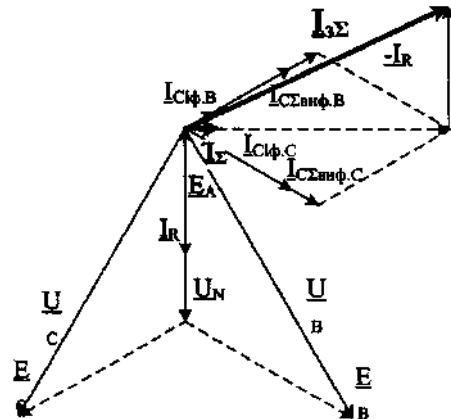
Гарсан шугамуудын газардлагын гүйдлийн хамгаалалтууд нь зөвхөн өөрийн шугаманд гарсан газардлагын үед ажиллаж, шугамаа таслах ба харин бусад шугаманд гэмтэл гарсан үед тухайн шугамаас гэмтэл бүхий цэг рүү гүйх багтаамжийн гүйдэлд ажиллахгүй байхаар займчуулан тохируулагдсан байх шаардлагатай.

Шугам сүлжээний саармаг цэг дээр байх бага Омын эсэргүүцлийн хэмжээг сонгохдоо юуны өмнө газардлагын хамгаалалт тавигдсан хэсэгтээ зөв найдвартай ажиллаж байх шаардлагатайн дээр нуман газардлага үүссэн үед хамгаалалтын ажиллагаанд саад учруулахгүйгээр нум нь тогтвортой сайн асч байх явдал чухал юм. Энэ хоёр шаардлагыг тус бүрт нь дэлгэрүүлж үзье.

а) Газардлагын хамгаалалт зөв найдвартай ажиллахын тулд дараах хоёр зарчмаар хамгаалалтын ажиллах гүйдлийг сонгоно.



2-р зураг. Газардлагын гүйдлийн тархалтын схем



3-р зураг. Бага Омын эсэргүүцэл бүхий саармаг цэгтэй ЦШС-ний газардлагын үеийн векторын дүрслэл

1) Гадны шугаманд үүссэн нэг фазын газардлагын үед хамгаалалт ажиллахгүй байх зарчим.

Энэ нь тухайн шугамын өөрийн үүсгэх багтаамжийн гүйдлээс хамгаалалтын тавилын гүйдлийг байнга их байхаар тохируулна.

$$I_{\Sigma, \text{расч}} \geq K_{\text{отс}} (K_{\text{бр}} I_{\Sigma \text{max}} + I_{\text{нб, max}}), \text{ А} \quad (1)$$

үүнд:  $K_{\text{отс}}$  - займчуулах тохируулгын коэффициент;  $K_{\text{бр}}$  - багтаамжийн гүйдэл үсрэлтийн байдлаар өөрчлөгдөхийг тооцсон коэффициент;  $I_{\Sigma \text{max}}$  - гадны шугаманд газардлаг гарсан үед тухайн шугамаас илгээх багтаамжийн гүйдлийн хамгийн их утга, А.

Тодорхой хэмжээний гүйдлийн нөөц ихсэлтийг тооцож  $I_{\Sigma \text{max}} = I_{\Sigma} K_{\text{нөөц}}$  гэж тооцно.

үүнд:  $I_{\Sigma}$  - тухайн шугаман багтаамжийн гүйдлийн тооцооны утга, А.  $K_{\text{нөөц}} = 1.25$  - гүйдлийн ихсэлтийг тооцсон нөөцийн коэффициент;

ОХУ-ын судлаач В.А: Шуин, А.В. Гусенов нарын гаргасан үнэлгээгээр:  $K_{\text{отс}} = 1.2$ ,  $K_{\text{бр}} = 2$  гэж авах нь зохистой гэж үзсэн байна. Харин балансын бус  $I_{\text{нб, max}}$  гэсэн гүйдлийн хэмжээ нь 1000 А хүртэлх ачааллын гүйдэлд маш бага хэд гарван ампер байдаг тул бага Омын эсэргүүцэлтэй үед  $I_{\text{нб, max}}$  гүйдлийг тооцохгүй орхиж болдог.

Эрдэм шинжилгээний ажлыг ивээн тэтгэсэн болон хамтран ажилласан хувь хүн, байгууллагад талархал илэрхийлэх хэсэг болно.

2) Тухайн шугаманд өөрт нь гарсан нэг фазын

газардлагын үед гүйдлийн хамгаалалт мэдрэмтгий ажиллаж, шугамыг найдвартай таслах шаардлагатай.

Энэ үед хамгаалалтын мэдрэх коэффициент  $K_T$ -г дараах илэрхийллээр тооцож шалгана.

$$K_T = I_3 / I_{C3} \quad (2)$$

үүнд:  $I_{C3}$  - гүйдлийн ихсэлтийн хамгаалалтын ажиллах гүйдэл,  $A$ ;  $I_3$  - тухайн шугаманд нэг фазын газардлага гарсан үед газардсан цэгээр гүйх бүрэн гүйдэл,  $A$ .

Энэ гүйдэл нь 2 баЗ-р зурагаас харахад секцийн нийт багтаамжийн гүйдэл ба саармаг цэгийн эсэргүүцлээр гүйх идэвхитэй гүйдлийн геометр нийлбэрээр  $I_3 = \sqrt{I_R^2 + I_{C_{max}}^2}$  гэж тодорхойлогдоно.

Хамгаалалт найдвартай ажиллахын тулд түүний мэдрэх коэффициент нь  $K_T \geq 1.5$  байх шаардлагатай.

Саармаг цэгийн бага Омын эсэргүүцлээр гүйх идэвхитэй гүйдлийн хэмжээ нь тухайн шугам сүлжээ, дэд станцын схемийн хамгийн тааламжгүй нөхцөлд газардлага гарсан шугамыг найдвартай таслаж чадах хамгаалалтын гүйдлийн хэмжээнээс хамаарч дараах байдлаар тооцоологдоно.

$$I_R = I_{C3} K_T \quad (3)$$

үүнд:  $I_R$  - саармаг цэгийн эсэргүүцлээр гүйвэл зохих идэвхитэй гүйдэл,  $A$ ;  $I_{C3}$  - хамгаалалтын ажиллах гүйдэл,  $A$ .  $K_T$  - хамгаалалтын мэдрэх коэффициент.

Шугам сүлжээний хамгийн тааламжгүй нөхцөл гэдэг нь хамгаалалт нь бодогдож байгаа тухайн шугам үлдэж бусад шугамууд нь бүгд таслагдсан, зөвхөн саармаг цэгийн эсэргүүцэл залгаатай байх үеийг ойлгоно.

б) Гүйдлийн ихсэлтийн хамгаалалт нь зөв найдвартай хэвийн ажиллахын тулд газардлагын үед үүссэн нум нь унтралгүй, тогтвортой сайн асах хэрэгтэй. Эс тэгвэл хамгаалалт ажиллахгүй буюу буруу ажиллах аюултай.

ОХУ-ын эрдэмтэн Н.Н.Беляков-ийн судалгаагаар нум үүссэн цэгээр гүйх идэвхитэй гүйдлийн хэмжээ нь тухайн секцийн нийт багтаамжийн гүйдлээсээ 2.5-4 дахин их байх тохиолдолд нум унтралгүйгээр тогтвортой сайн асдагийг тогтоосон байна.

Энэ үндэслэлээр шугам сүлжээний саармаг цэг дээрх бага Омын эсэргүүцлээр гүйвэл зохих идэвхитэй гүйдлийг дахин тодорхойлбол:

$$I_{P3} = (2.5-4) I_{C\Sigma} \quad (4)$$

Энэ зарчмаар саармаг цэг дээр байвал зохих эсэргүүцлийн хэмжээг олбол:

$$R_{P3} = U_{\phi} / I_{P3} = U_{ХЭВ} / \sqrt{3} I_{P3} \text{ Ом} \quad (5)$$

болно.

#### IV. ДҮГНЭЛТ

1) Ихэнх улс орнууд дараах шалтгаануудын улмаас тусгаарлагдсан саармаг цэгийн горимоос татгалзах болсон байна. Үүнд:

- Металл төрлийн НФГ-ын үед эрүүл фазуудын хүчдэл шугамын хүчдэл хүртэл нэмэгдэх тул тусгаарлах хийцүүдийн фазуудын тусгаарлагын түвшинг шугамын хүчдлийг даахаар тооцож үйлдвэрлэх шаардлагатай болох тул тусгаарлах хийцүүдийг үнэ өртөг нэмэгдэнэ.
- Нэг фазын нуман газардлага (ННФГ)-ийн үед их хэмжээний ННФГ нь хоёр, гурван фазын богино залгаа болох магадлал нь мэдэгдэхүйц нэмэгдэнэ. Энэ төрлийн аварийн бүх аварид эзлэх хувийн жин нь 80% хүртэл өндөр байдаг байна.
- НФГ-ийн үед шугам сүлжээнд их хэмжээний феррорезонансын хэт хүчдэл үүсч хүчдлийн хэмжүүрийн трансформатор, цахилгаан хөдөлгүүрүүд болон бусад тоног төхөөрөмжүүд олноороо шатах аюул нүүрлэнэ.
- НУО-ийн резонансын тохируулганд ажиллуулах үед маш бага газардлагын гүйдэл гүйх учраас газардлагын гэмтэлтэй шугамыг илрүүлж, олж таслах боломжгүй болно.
- Цахилгаан шугам сүлжээ нь НФГ-ын үед автоматаар таслагдалгүй, зөвхөн дохиолол өгөх тул газардлага үүссэн цэгээр удаан хугацаанд гүйдэл гүйж, хүмүүс болон ан амьтан цахилгаан гүйдэлд орох аюул байнга нүүрлэнэ.

2) Тусгаарлагдсан саармаг цэг бүхий шугам сүлжээнд ажлын хүчдлийн түр зуурын ихсэлт бий болох, мөн удаавтар үргэлжлэх нэг фазын нуман газардлагын хэт хүчдлийн үйлчлэлүүдэд ОПН шатах аюул их байдаг байна.

3) Монгол орны цахилгаан түгээх сүлжээний практикт полиэтиленэн тусгаарлагатай кабелуудын хэвийн хүчдлийн түвшинг, шугам сүлжээний хүчдэлтэй нь яг тохируулан сонгосон тохиолдолд шугам кабелийн ашиглалтын нас жилийг уртасгах зорилгоор НФГ-ын хамгаалалтыг хийхдээ газардлага бүхий шугамыг шууд тасладаг буюу аль эсвэл багавтар 1-2 сек-ийн хугацааны дараа тасладаг байх схемийг сонгох ажлыг нэвтрүүлэх шаардлагатай.

4) Тусгаарлагдсан саармаг цэгтэй түгээх сүлжээний олон улсын практикт нэвтэрч байгаа шийдэл болох шугам сүлжээний саармаг цэгийг идэвхитэй эсэргүүцлээр газардуулах хувилбарыг хэрэглэх үед саармаг цэг дээр байх бага Омын эсэргүүцлийн хэмжээг сонгохдоо

*юуны өмнө газардлагын хамгаалалт тавигдсан хэсэгт зөв найдвартай ажиллах хийгээд нуман газардлага гарсан үед хамгаалалтын ажиллагаанд саад учруулахгүйгээр нум нь тогтвортой сайн асч байх гэсэн үндсэн хоёр шаардлагыг хангах тооцоонд үндэслэсэн техникийн арга хэмжээнүүдийг зайлиггүй хэрэгжүүлэх хэрэгтэй.*

#### **V. АШИГЛАСАН НОМ, ХЭВЛЭЛҮҮД:**

- [1] З. Цэрэндорж, Ц. Эрдэнэчимэг. Өндөр хүчдлийн техник- 4: Дотоод хэт хүчдэл, тусгаарлагын хэмжилт оношлогоо. Улаанбаатар 2009
- [2] Druml G., Kugi A., Paig В. Дугогасящие реакторы 6–35 кВ. Повышение точности настройки // Новости ЭлектроТехники. – 2007. – № 1(43).
- [3] Druml G., Seiferd O. Дугогасящие реакторы 6–35 кВ. Новый метод определения параметров сети // Новости ЭлектроТехники. – 2007. – № 2(44).
- [4] Миронов И.А. Дугогасящие реакторы 6–35 кВ. Автоматическая компенсация емкостного тока // Новости ЭлектроТехники. – 2007. – № 3(45).
- [5] Ильиных М., Сарин Л., Ширковец А., Буянов Э. Компенсированная и комбинированно заземленная нейтраль. Опыт эксплуатации сети 6 кВ металлургического комбината // Новости ЭлектроТехники. – 2007. – № 2(44). – С. 68–72
- [6] Вильгейм Р., Уотерс М. Заземление нейтрали в высоковольтных системах. М.: Госэнергоиздат, 1959.

## ТҮГЭЭХ СҮЛЖЭЭНД ГАЗАРДЛАГЫН ХАМГААЛАЛТ НЭВТРҮҮЛЭХ СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН ҮР ДҮН

Ч.Алтанбүргэд<sup>1,2</sup>, М.Баттулга<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Цахилгааны техникийн салбар

<sup>2</sup>Монгол улс, Улаанбаатар, Улаанбаатар цахилгаан түгээх сүлжээ ТӨХК

altanbured.ch@ubedn.mn, battulga@must.edu.mn

*Хураангуй*–Хүн амын өсөлт, мөн хөдөө орон нутгаас шилжин ирж, суурьшиж байгаа иргэдээс хамааран Нийслэл хотын цар хүрээ ихээр тэлж үүнийг дагаад цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээ жил бүр дунджаар 6.7 хувиар өсөн нэмэгдэж байна. Энэхүү ачааллын өсөлтөөс шалтгаалан цахилгаан дамжуулах түгээх шугам, тоноглолууд нэмэгдэж, эдгээр шугам, тоноглолууд өндөр ачаалалтай ажиллаж байна. Үүний улмаас цахилгаан дамжуулах агаарын болон кабель шугамууд хэт урт болсноор багтаамжийн гүйдэл норм хэмжээнээс хэтэрч нэг фазын газардлага, түүнээс үүсэн бий болох дотоод хэт хүчдэлийг бууруулах, хязгаарлах, газардлагыг цааш даамжруулахгүйн тул нум унтраах ороомог эсвэл идэвхитэй эсэргүүцлийг ашиглах замаар саармаг цэгийн горимыг өөрчлөх зайлшгүй шаардлага гарсан. Энэхүү багтаамжийн гүйдлийг бууруулахаар 35-110 кВ-ын 16 дэд станцыг резистив газардуулгын горимд шилжүүлж нэг фазын газардлагын хамгаалалтыг үе шаттайгаар нэвтрүүлсэн ажлын судалгаа тооцоо, бодит туршилтын үр дүнг танилцуулав.

*Түлхүүр үг:* Саармаг цэгийн горим, нэг фазын газардлагын гүйдэл, нэг фазын газардлагын хамгаалалт, кабель шугамын гэмтэл.

### I. УДИРТГАЛ

Улаанбаатар хотын цахилгаан хангамжийн 6-35 кВ-ын хүчдэлтэй түгээх сүлжээ нь хөндийрүүлсэн болон компенсцласан саармаг цэгийн горимд ажиллаж байгаа ба тус сүлжээнд нэг фазын газардлага бий болж, гүйдэл 6,10 кВ-д 20-30А, 35 кВ-д 10А-аас ихгүй [2] байх тохиолдолд газардлагын үед үүссэн нум өөрөө түргэн хугацаанд унтардаг тул шугам сүлжээнд нуман газардлагын аюултай хэмжээний хэт хүчдэл үүсэх боломжгүй гэж үздэг. Харин дээрх утгаас их газардлагын гүйдэлтэй үед нум унтраах ороомог бүхий горимуудыг ашиглаж ирсэн.

Тасралтын судалгаа [3]-аас харахад түгээх сүлжээнд гарч буй гэмтлийн дийлэнх хувийг (80-90%) нэг фазын газардлага эзлэж байна. Мөн сүүлийн жилүүдэд ачаалал нэмэгдэж, шугам хэт уртассан тул 6-35 кВ-ын сүлжээг резистив газардуулгын горимд үе шаттайгаар шилжүүлж байна.

Резистив газардуулгын горимд шилжүүлсэн сүлжээний 336 шугамд нэг фазын чиглэлтэй газардлагын хамгаалалтыг шинээр нэвтрүүлсэн бөгөөд энэхүү хамгаалалтын ажиллагааны үр дүнгийн талаар судалгааны ажилд тусгасан.

Мөн газардлагын гүйдлийг сонгож тасалснаар гэмтлийг олж илрүүлэх хугацаа 2-3 дахин буурч дутуу түгээсэн цахилгаан эрчим хүч 38%-иар буурч улмаар хүн, мал, амьтан хүчдэлд нэрвэгдэх магадлалыг бууруулан эрсдэл гарахаас урьдчилан сэргийлсэн.

### II. СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН ОБЪЕКТЫН ТУХАЙ

110 кВ-ын 425 км шугам, 35 дэд станц, 35 кВ-ын 1111 км шугам, 274 дэд станц, 6-10 кВ-ын 5371 км шугам, 106 хуваарилах байгууламж, 7752 дэд өртөө, 0.4 кВ-ын 4274 км урт шугамтай бөгөөд дараах дэд станц, хуваарилах байгууламжуудыг резистив газардуулгын горимд шилжүүлсэн. Үүнд:

- 110 кВ-ын ил хуваарилах байгууламж (ИХБ)-3, Умард, Баруун, Туул, Өмнөд, Дорнод-2, Телевиз д/с,

- 35/10 кВ-ын Нарлаг, Дорнод-1, 35/6 кВ-ын Дөрвөн зам, Эсгийлэх Олимп, Цэлмэг, Ваар, Баянхошуу дэд станц,

- 6-10 кВ-ын РП-2, 5, 13, 15, 25, 27, 29, 30, 31, 36, ПРП, 41, 49, 58 хуваарилах байгууламж

Резистив газардуулгын горимд шилжүүлсэн 110 кВ-ын 7 дэд станц, 35 кВ-ын 9 дэд станц, 6-10 кВ-ын 14 хуваарилах байгууламжаас гарсан 336 цахилгаан дамжуулах шугамд нэг фазын газардлагын хамгаалалтыг ажилд оруулсан.

### III. СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН АРГА ЗҮЙ

6-35 кВ-ын сүлжээнд гарч буй гэмтлийн дийлэнх хувь нь (80-90% хүртэл) нэг фазын газардлагаас үүдэн бий болдог бөгөөд ердийн нэг фазын газардлага эдийн засгийн хор хохирол ихтэй аваари болон өргөжин тэлэх тохиолдол их байдаг.

Нэг фазын газардлагын хор хөнөөл:

1. Сүлжээнд хэт хүчдэл үүсэж бусад тоног төхөөрөмжүүд гэмтээх;
2. Нэг фазын газардлага фаз хоорондын богино залгаа болж өргөжснөөр тоноглолын ашиглалтын хугацаа богиносх, цаашид бүрэн ашиглах боломжгүй болох;
3. Гэмтсэн цэгээс гадна тусгаарлага муудсан өөр хэсэгт нөлөөлж давхар гэмтэл үүсгэж ингэснээрээ кабелийн гэмтлийн цэгийг олж илрүүлэхэд хугацаа алдах;
4. Түгээх сүлжээний хамрах хүрээ ихээхэн өргөжсөн өнөө үед кабелийн шугамын урт маш их болсон тул багтаамжын гүйдлийн хэмжээ давхар ихсэж, гэмтлийн хамрах хүрээг улам нэмэгдүүлэх;
5. Феррорезонанс бий болгох;
6. Газардсан цэгийн орчим алхмын хүчдэл үүсэж хүн, мал амьтан хүчдэлд нэрвэгдэх;
7. ЦДАШ-ын төмөр бетон тулгуур гэмтээх;
8. Хөдөлгүүрийн эрүүл фаз нь дагаж гэмтэх;
9. Гал түймэрийн аюул бий болгох;
10. Нуман газардлага гарсан үед холбооны шугамд их хэмжээний шуугиан үүсгэх, кабелийн гэмтлийг илрүүлэхэд хугацаа алдах зэрэг дутагдалтай талуудтай байдаг.



1-р зураг. ЦДКШ-ын нэг фазын газардлагын гэмтэл

Дээрхи шалтгаануудын улмаас түгээх сүлжээнд 1 фазын газардлага гарсан тохиолдолд гэмтсэн хэсгийг зөв сонгож, богино хугацаанд найдвартай таслах шаардлага үүсээд байгаа тул энэ сэдвээр судалгааны ажил хийх шаардлагатай байна.

*А. Газардлагын их гүйдэлтэй сүлжээний газардлагын хамгаалалтын тухай ерөнхий ойлголт*

Газардлагын богино залгаанаас хамгаалахын тулд тэг дарааллын гүйдэл, хүчдэлийг мэдэрдэг хамгаалалт хэрэглэгддэг. Сүлжээний ямар нэгэн цэг дээрх тэг дарааллын гүйдэл, хүчдэл нь дараах томъёогоор тодорхойлогдоно.

$$I_0 = \frac{1}{3} (I_A + I_B + I_C) \quad (1)$$

$$U_0 = \frac{1}{3} (U_A + U_B + U_C) \quad (2)$$

энд:  $U_0, I_0$  – тэг дарааллын хүчдэл, гүйдэл;  $U_A, U_B, U_C, I_A, I_B, I_C$  – сүлжээний ямар нэг цэг дээрх фазын хүчдэл, гүйдлүүд.

Ямар нэгэн цэгт богино залгаа болсон үед тэг дарааллын гүйдлийг тодорхойлохдоо анхны нөхцлөө  $I_A=I_k, I_B=I_C=0$  гэж үзэж (1)-р томъёогоор олно.

$$I_0 = \frac{1}{3} I_A = \frac{1}{3} I_k \quad (3)$$

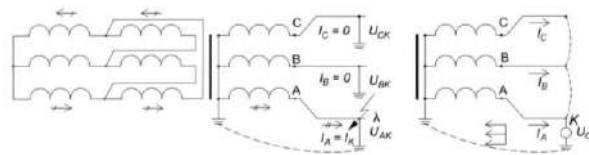
Үүнээс богино залгааны гүйдлийг олбол:

$$I_k = 3I_0 \quad (4)$$

$U_{AK}=0$  гэж үзэж (2)-р томъёогоор тэг дарааллын хүчдэлийг олбол:

$$U_0 = \frac{1}{3} (U_B + U_C) \quad (5)$$

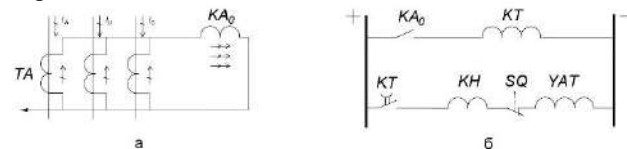
Нэг фазын богино залгааны үед гэмтлийн цэг дээр тэг дарааллын гүйдэл нь богино залгааны гүйдлийн 1/3-тай тэнцүү бөгөөд түүнтэй фазаараа давхцаж байдаг. Харин тэг дарааллын хүчдэл нь гэмтээгүй фазын хүчдэлүүдийн геометр нийлбэрийн 1/3-тай тэнцүү байна. Зураг 2-оос харахад тэг дарааллын гүйдэл үүсгэгч нь хүчний трансформаторын гүн газардуулсан нейтраль болно. Тэг дарааллын гүйдлийн хуваарилалт нь сүлжээний нейтраллийн горимоос хамаарч байдаг.



2-р зураг. а-сүлжээний 1 фазын богино залгаа, б- $U_{0k}$  хүчдэлийн үйлчлэлээр  $I_0$  гүйдлийн тархалт.

*В. Тэг дарааллын гүйдлийн хамгаалалт*

Тэг дарааллын ихсэх гүйдлийн хамгаалалт (зураг 3) тэг дарааллын гүйдлийн шүүлтүүрээс тэжээгдсэн гүйдлийн реле  $KA_0$  ба хугацааны реле  $KT$ -ээс бүрдэж байна. Хугацааны реле нь сонгох чадварын шаардлагын дагуу хугацааны барилтыг бий болгодог.



3-р зураг 3. Тэг дарааллын гүйдлийн хамгаалалтын схем. а-хамгаалалтын хүлээн авах хэсэг тэг дарааллын гүйдлийн шүүлтүүрээс тэжээгдсэн гүйдлийн реле, б-хамгаалалтын шуурхай хэсэг.

$KA_0$  релений гүйдэл нь гурван фаз дээр тавигдсан гүйдлийн трансформаторуудын хоёрдогч талын гүйдлүүдийн геометр нийлбэртэй тэнцүү:

$$I_{0,p} = I_a + I_b + I_c = \frac{I_A + I_B + I_C}{K_{TA}} = \frac{3 \cdot I_0}{K_{TA}} \quad (6)$$

Энд релений ороомгоор гүйж байгаа гүйдлийг олохдоо гүйдлийн трансформаторын гүйдлийн алдаг тооцоогүй. Гурван фазын богино залгаа ба симметр ачааллын гүйдлүүдийн геометр нийлбэр  $I_A + I_B + I_C = 0$  учраас релений ороомгоор гүйдэл гүйхгүй. Иймд тэг дарааллын гүйдлийн хамгаалалтын ажиллах гүйдлийг олохдоо хэвийн горим болон хэт ачааллын гүйдлийн тооцох шаардлагагүй. Тэг дарааллын гүйдлийн хамгаалалтын мэдрэх чадвар нь фаз хоорондын богино залгааны хамгаалалтынхаас мэдрэмж өндөртэй байдаг. Гэвч гүйдлийн трансформатор дээр гүйдлийн алдаа их гардаг учраас реле ороомгоор гүйх гүйдэл нь фаз

хоорондын болон ачааллын гүйдлийн үед тэгтэй тэнцдэггүй. Иймд  $K_{A0}$  гүйдлийн релений ороомгоор гүйдэл гүйдэг. Энэ гүйдлийг балансын биш гүйдэл гэж нэрлэдэг.

Гүйдлийн трансформаторын соронзлох гүйдлийг тооцож (6)-р томъёогоор релений ороомгоор гүйх гүйдлийг олбол:

$$I_{0,p} = \frac{3 \cdot I_0}{K_{TA}} - I_{НБ} \quad (7)$$

Хоёрдугаар байгуулагч нь балансын биш гүйдэл юм.

$$I_{НБ} = \frac{I_{A,нам} + I_{B,нам} + I_{C,нам}}{K_{TA}} \quad (8)$$

Томъёоноос харахад балансын биш гүйдэл нь гүйдлийн трансформаторын соронзлох гүйдлүүдийн геометр нийлбэртэй тэнцүү байна.

Газардлагын хамгаалалтын ажиллах гүйдлийг балансын биш гүйдлээс их байхаар сонгож авах хэрэгтэй. Үүний тулд:

1. Гурван фазын богино залгааны гүйдлийн хамгийн их утгаас хэд дахин их болохыг тодорхойлж 10%-ийн алдагдлын муруйгаар гүйдлийн трансформаторыг сонгож авах хэрэгтэй.
2. Гурван фаз дээр тавьсан гүйдлийн трансформаторын соронзлогдох тодорхойломжууд нь ижил байх ёстой.
3. Фаз бүрийн гүйдлийн трансформаторын хоёрдох хэлхээний ачааллууд нь шинж чанараараа ижил, хэмжээ нь тэнцүү байх ёстой.

Сонгох чадварын шаардлагаар тэг дарааллын гүйдлийн хамгаалалтын ажиллах хугацааг сонгохдоо хүчний трансформаторын гүн газардуулсан нейтральд ойртох тутам шатлан ихсэж байхаар тохируулна.

Газардлагын хамгаалалтын ажиллах гүйдлийг дараах томъёогоор тооцдог.

$$I_{с.з} = K_H \cdot I_{НБ,маx} \quad (9)$$

$K_H$  – найдвартай ажиллагааны коэффициент 1.3-1.5 тэнцүү гэж авна.  $I_{НБ,маx}$  – балансын биш гүйдлийн хамгийн их утга.

Балансын биш гүйдлийн хамгийн их утгыг дараах томъёогоор тодорхойлно.

$$I_{НБ,маx} = K_{ОДН} \cdot f_i \cdot I_k^{(3)} \quad (10)$$

$K_{ОДН}$  – гүйдлийн трансформаторын нэгэн төрлийг тооцох коэффициент 0.5-1 байна.

$f_i$  – гүйдлийн трансформаторын гүйдлийн утгын алдагдал 0.1 гэж авна.

$I_k^{(3)}$  – хамгаалалтын дараах хэсгийн эхэндэх гурван фазын богино залгааны гүйдлийн хамгийн их утга

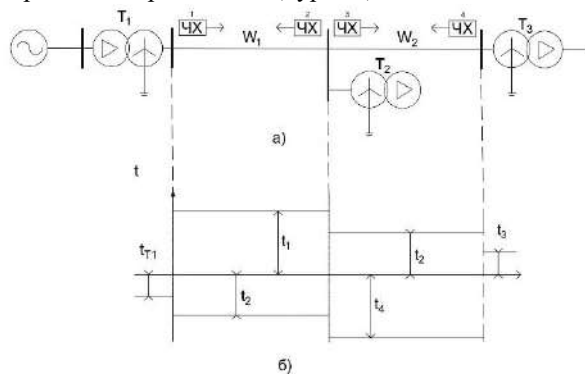
Энэ хамгаалалтын мэдрэх чадварын мэдрэх чадварын коэффициентоор тодорхойлно.

$$K_{ч} = \frac{3 \cdot I_{0,min}}{I_{с.з}} \quad (11)$$

$K_{ч}$  – мэдрэх чадварын коэффициент нь 1.5-аас дээш байх ёстой.

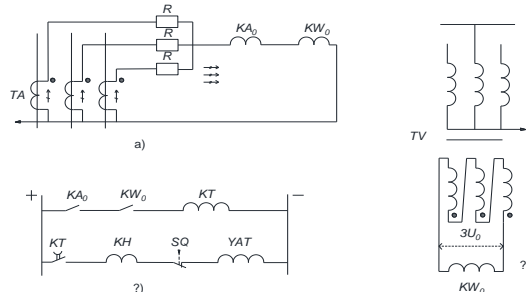
### С. Тэг дарааллын гүйдлийн чиглэлтэй хамгаалалт

Хүчний трансформаторын нейтралитг хоёр буюу түүнээс дээш хэд хэдэн цэг дээр газардуулсан сүлжээнд тэг дарааллын ихсэх гүйдлийн хамгаалалтыг хэрэглэхэд сонгон авах чадварын шаардлагыг хангаж чадахгүй тул тэг дарааллын гүйдлийн чиглэлийн хамгаалалт хэрэглэх шаардлагатай. (Зураг 4)



4-р зураг. а-тэг дарааллын гүйдлийн чиглэлийн хамгаалалт (ЧХ)-ын байршил, б-тэг дарааллын гүйдлийн чиглэлийн хамгаалалтуудын хугацааны барилтын хамаарал.

Тэг дарааллын гүйдлийн нэг чиглэлд ажиллаж байгаа хамгаалалтын хугацааны барилтыг сонгох чадварын шаардлагаар гүн газардуулсан нейтраль руу ойртох тусам шатлан ихсэж байхаар сонгож авдаг. (Зураг 5)



5-р зураг. Тэг дарааллын гүйдлийн чиглэлтэй хамгаалалтын схем. а-хамгаалалтын гүйдлийн хэлхээ, б-хамгаалалтын хүчдэлийн хэлхээ, в-хамгаалалтын шуурхай үйлдлийн хэлхээ.

Энэ хамгаалалт нь газардлагын гүйдлийг мэдэрч  $K_{A0}$  гүйдлийн реле, чадлын чиглэлийг мэдэрч байгаа  $K_{W0}$  чадлын реле, сонгох чадварын шаардлагыг хангах хугацааны барилт бий болгох  $K_T$  хугацааны реле зэргээс бүрдэнэ. Гүйдлийн ба чадлын релений гүйдлийн ороомгийг  $3 \cdot I_0$  гүйдэл гүйж байхаар тэг дарааллын гүйдлийн шүүлтүүрээс тэжээдэг. Харин чадлын релений хүчдэлийн ороомгийг  $3 \cdot U_0$  хүчдэлийг гаргаж байгаа хүчдэлийн трансформаторын задгай гурвалжин холболттой ороомгоос тэжээж байна. Эсвэл хүчний трансформаторын гүн газардуулсан нейтраль дээр тавьсан гүйдлийн трансформатораас тэжээж болно.

Харин өөрийнхөө үйлчлэх бүсийн дотор газардлагын богино залгаа болсон үед тэг дарааллын гүйдлээр  $KA_0$ ,  $KW_0$  реленүүд ажиллаж  $KT$  реленд ажиллах команд өгнө.  $KT$  реле өөрийнхөө хугацааны барилтаар таслуурт таслах команд өгч ажилладаг.

Нэг фазын газардлагаас хамгаалах РХА нь сонгон таслах боломжгүй буюу нэг фазын газардлага гарах үед хүн амьтанд эрсдэлтэй, тоноглол гэмтэх нөхцөл үүссэн нь 6-10 кВ-ын түгээх сүлжээнд нейтралын резистив газардуулга хэрэглэх, нэг фазын газардлагын хамгаалалтыг нэвтрүүлээд байна.

#### IV. СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН ҮР ДҮН

Улаанбаатар хотын цахилгааны эх үүсвэрийн 110 кВ-ын ИХБ-3, Умард, Баруун, Туул, Өмнөд, Дорнод-2, Телевиз зэрэг 7 дэд станц, УБЦТС ТӨХК-ийн эзэмшлийн 35/10 кВ-ын Нарлаг, Дорнод-1, 35/6 кВ-ын Дөрвөн зам, Эсгийлэх Олимп, Цэлмэг, Ваар, Баянхошуу зэрэг 9 дэд станц, их болон бага Омын резисторыг үе шаттайгаар суурилуулж резистив газардуулгын горимд шилжүүлснээр түгээх сүлжээнд нэг фазын газардлагын хамгаалалтыг нэвтрүүлэх боломжийг бүрдүүлсэн.

**Туршилт:** Энэхүү ажлын хүрээнд дээрх хамгаалалтыг ажилд оруулахын өмнө бодит туршилтыг 35/6 кВ-ын Эсгийлэх дэд станцын 6 кВ-ын РП-36А,Б фидерүүдийн В фазуудад үүсгэгчээс 600м зайд 1 фазын металл газардуулга зохиомлоор хийж, РП-36А,Б фидерүүдийг залгах агшинд 1 фазын хамгаалалтыг ажиллуулж шалгаж үзсэн.

##### Туршилт хийх аргачлал:

1. Нэг фазын метал газардлагын хэмжилт туршилт хийх схемийг дараах байдлаар бэлдэнэ.

а. Хэмжилт хийхийн тулд 2 гарсан шугам болон тухайн секцийн реакторыг таслаж схем задласан байна. Нэгдэх гарсан шугамын ячейканд хүчдэл хуваагч делителийг холбоно. Делитель холбох ячейкийг сонгохдоо ачааллыг шилжүүлж ачаалалгүйгээр залгах бол ачаалал багатай фидерийг сонгож схем бэлдэнэ. Хоёрдахь гарсан шугамын ячейканд аль нэг фазыг сонгон авч гүйдлийн трансформатор дайруулж газардуулна. Гүйдлийн трансформаторын анхдагч талын гүйдэл нь тухайн секцийн газардлагын гүйдлийн тооцоогоор гарсан утгатай ойролцоо байхаар сонгоно.

б. Делителийн өндөр талыг гурван фазын шин тус бүрд өндөр хүчдэлийн тусгаарлага сайтай бүрээстэй уян кабель ашиглан холбоно. Нам талаас холболтын утас сунгаж осциллографид холбоно. Делителийн төгсгөлүүдийг газардуулна.

в. Зохиомол газардуулга хийхдээ хөндлөн огтлол сайтай уян дамжуулагч сонгож нэг үзүүрийг аль нэг фазын шинд холбоод нөгөө үзүүрийг

ячейкийн их бие болон газардуулагдсан хэсгүүдэд хүргэлгүйгээр гүйдлийн трансформаторын анхдагч ороомгийн оролтонд холбоно. Гүйдлийн трансформаторын анхдагч ороомгийн гаралтыг зөөврийн газардуулга ашиглан газардуулна. Гүйдлийн трансформаторын хоёрдогч ороомгоос холболтын утас сунгаж шунтын эсэргүүцлээр дамжуулан осциллографид холбоно.

г. Реакторт схем бэлдэхдээ реакторын гаралтын газардуулагдсан хэсгийг тайлж гүйдлийн трансформаторын анхдагч ороомгийн оролт дээр холбоно. Гүйдлийн трансформаторын анхдагч ороомгийн гаралтыг зөөврийн газардуулгаар газардуулна. Гүйдлийн трансформаторын хоёрдогч ороомгийн нарийвчлал сайтай талаас холболтын утас сунгаж шунтын эсэргүүцлээр дайруулан осциллографид холбоно.

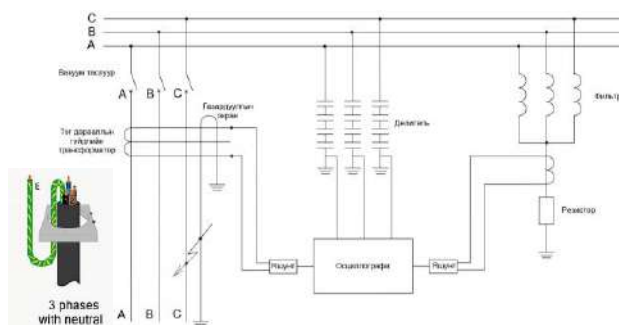
2. Нэг фазын метал газардлагын хэмжилт хийх дараалал

а. Осциллографи асаагаад ажиллагааг нь шалгана.

б. Делитель залгасан шугамаа залгаж хэвийн горимын үе дэх фазын хүчдэл шугамын хүчдэлийг осциллографтаар хянаж осциллографт хадгална.

в. Схем бэлдсэн реакторыг залгана.

г. Бүх схем бэлэн болсны дараа газардлагын хэмжилт хийнэ. Хэмжилт хийхдээ тухайн газардуулсан шугамын таслуурыг удирдлагаар залгаж 1-с 3 секундйн хугацаанд буцаан таслана. Энэ үед осциллографи дээр шинийн газардлагын гүйдэл, реакторын компенсацилсан гүйдэл, газардлагын үеийн хэт хүчдэл зэрэг хэмжилтүүд бичигдэнэ.



6-р зураг. Туршилтын схем

Дээрх схемээр бодит туршилт хийх үеийн фото зураг болон туршилтын үр дүнг зураг 7, 8-д харуулсан. (SEL-751A, хэмжүүрийн багаж)



7-р зураг. Туршилтын схемийн холболт, осциллографын үр дүн.





8-р зураг. РП-36А фидерийн SEL-751А микропроцессорын релений туршилтын үр дүн (I<sub>N</sub>-нэг фазын газардлагын гүйдлийн хэмжээ)

Бодит туршилтаар тэг дарааллын гүйдлийн трансформатороор 95.46А гүйдэл гүйж /тавил нь 30А, 0.3с байсан/, ерөнхий шинд хэвийн хүчдэлээс 16.2 кВ буюу 2.7 дахин их хэт хүчдэл үүссэн бөгөөд **1 фазын газардлагын хамгаалалт зөв ажиллаж, газардлага гарсан шугамыг зөв сонгож таслалаа.**

Судалгаа тооцоо, бодит туршилтуудыг үндэслэн УБЦТС ТӨХК нь резистив газардуулгын горимд шилжүүлсэн 16 дэд станц, 6-10 кВ-ын 14 хуваарилах байгууламжуудаас гарсан 336 цахилгаан дамжуулах шугамд нэг фазын газардлагын хамгаалалтыг амжилттай нэвтрүүлсэн бөгөөд 2021 оны 12 сарын байдлаар нийт 327 удаа газардлагын хамгаалалт амжилттай ажилласан байна.

Резистив газардлагын горимд Улаанбаатар хотын төвийн хэсгийн кабель шугамын сүлжээг түлхүү хамруулсан тул кабель шугамын сүүлийн 10 жилийн гэмтэл [6]-ийн судалгаанд дүн шинжилгээ хийсэн.

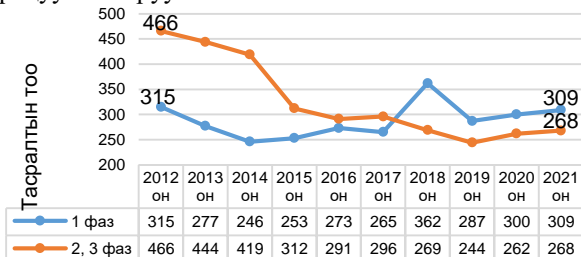
Кабелийн гэмтлийн тоог нэг болон хоёр, гурван фазын гэмтэл гэсэн төрлөөр ангилан гэмтлийн эзлэх хувийг хүснэгт 1-т харуулсан.

1-Р ХҮСНЭГТ 1. КАБЕЛИЙН ГЭМТЛИЙН ТӨРЛӨӨР АНГИЛСАН СУДАЛГАА

Он	Нийт кабелийн гэмтлийн тоо	6-35 кВ-ын гэмтлийн төрөл, шинж			
		1 фаз		2,3 фаз	
		тоо	Нийт кабелийн гэмтэлд эзлэх хувь	тоо	Нийт кабелийн гэмтэлд эзлэх хувь
2012	781	315	40.3%	466	59.7%
2013	721	277	38.4%	444	61.6%
2014	665	246	37.0%	419	63.0%
2015	565	253	44.8%	312	55.2%
2016	564	273	48.4%	291	51.6%
2017	561	265	47.2%	296	52.8%
2018	631	362	57.4%	269	42.6%
2019	531	287	54.0%	244	46.0%
2020	562	300	53.4%	262	46.6%
2021	577	309	53.6%	268	46.4%

Нийт кабелийн гэмтэлд 1 фазын кабелийн гэмтэл 2012 оноос 2017 он хүртэл 37-48.4 хүртэлх хувийг эзэлж байсан бол 2018 оноос 2021 онуудад 53.4-57 хувь болж өссөн байна.

2012-2021 оны хооронд кабель дээр гарсан гэмтлийг төрлөөр нь ангилж зураг 9-д харьцуулан харуулав.



9-р зураг. Нэг ба хоёр, гурван фазын гэмтлийн харьцуулалт

Харин 2 болон гурван фазын гэмтэл 1 фазын гэмтлээс эсрэг 2012 оноос 2017 онуудад 51.6-63 хувийг эзэлж байсан бол 2018 оноос 2021 онуудад 42.6-46.6 хувийг эзэлж буурсан байна. Тиймээс резистив газардуулгын горимд шилжүүлж, нэг фазын газардлагын хамгаалалтыг ажилд оруулснаар 2, 3 фазын гэмтлийн тоо болон гэмтлийн хувь буурсан нь 1 фазын газардлага өргөжих асуудал буурсан байгааг харуулж байна.

## V. ДҮГНЭЛТ

Нийслэл хотын хэрэглэгчийн тоо, ачаалал байнга өсөн нэмэгдэхийн тэр хэрээр тоноглол, шугамын хэмжээ ихсэж байгаа өнөө үед нэг фазын газардлага, түүнээс үүсэн бий болох дотоод хэт хүчдэлийг бууруулах, хязгаарлах, газардлагыг цааш даамжруулахгүй байх үүднээс резистив газардуулгын горимд шилжүүлэн нэг фазын газардлагын хамгаалалтыг ажилд оруулсаар байна.

6-35 кВ-ын сүлжээний нэг фазын газардлагын реле хамгаалалт нь сүлжээний найдвартай ажиллагааг хангаж гэмтэлтэй тоноглолыг гэмтэлгүй хэсгээс нь тусгаарлах, гэмтлийн цар хүрээг багасгаж сүлжээнд учрах хохирлыг бууруулах чухал ач холбогдолтой байдаг.

Энэхүү судалгааны ажлаар газардлагын хамгаалалт оруулснаар кабель шугамын найдвартай ажиллагаа, гэмтлийн төрөлд хэрхэн нөлөөлсөн талаар судлахад дараах үр дүн гарсан.

Үүнд:

- 6-35 кВ-ын кабель шугам 67.4 хувь буюу 573.1 км-ээр уртассан ч гэмтлийн тоо 2012 онд 781 байсан бол 2021 онд 577 болж 26.1%-иар буурсан. Хэт хүчдэлийн хэмжээ буурснаар гэмтэл даамжран өргөжиж гэмтлийг тоог өсгөх асуудал буурсан.
- Нийт кабель шугамын уртад гэмтлийн тоог харьцуулсан хувиас харахад жил бүр буурсан бөгөөд нэг фазын газардлагын хамгаалалт нэвтрүүлсний үр дүнд 2012 оны кабелийн

гэмтлийн эзлэх хувь 2021 онтой харьцуулахад 2 дахин буурсан байна.

3. Кабель шугамын гэмтлийн төрлөөр ангилан харахад нийт кабелийн гэмтэлд 1 фазын кабелийн гэмтэл 2012 оноос 2017 он хүртэл 37-48.4 хүртэлх хувийг эзэлж байсан бол 2018 оноос 2021 онуудад 53.4-57 хувь болж өссөн, 2 болон гурван фазын гэмтэл 1 фазын гэмтлээс эсрэг 2012 оноос 2017 онуудад 51.6-63 хувийг эзэлж байсан бол 2018 оноос 2021 онуудад 42.6-46.6 хувийг эзэлж буурсан байна.

Резистив газардуулгын горимд шилжүүлж, нэг фазын газардлагын хамгаалалтыг ажилд оруулснаар 2, 3 фазын гэмтлийн тоо болон гэмтлийн хувь буурсан нь 1 фазын газардлага өргөжих асуудал буурсан байгааг харуулж байна.

Мөн гэмтлийг олж илрүүлэх хугацаа 2-3 дахин буурч дутуу түгээсэн цахилгаан эрчим хүч 38%-иар буурсан. Мөн хүн, мал, амьтан хүчдэлд нэрвэгдэх магадлалыг бууруулан эрсдэл гарахаас урьдчилан сэргийлсэн. Тиймээс түгээх сүлжээний найдвартай ажиллагааг хангах үүднээс резистив газардуулгын горимд шилжүүлэн, чиглэлтэй газардлагын хамгаалалт оруулах ажил үргэлжлэн хийгдсээр байна. Сүлжээнд нумын хэт хүчдэл үүсэхгүй ба гэмтэл нь нэг фазынхаас олон фазын болж даамжран өргөжих боломжийг хааж үндсэн тоноглол гэмтэхгүй байх нөхцөлийг бүрдүүлж гэмтлийн тоог бууруулах зэрэг сүлжээний дотоод хэт хүчдэлийг техник ашиглалтын дүрэмд заасан хэмжээнд хүртэл бууруулах боломж бүрдэнэ.

## VI. АШИГЛАСАН НОМЫН ЖАГСААЛТ

- [1] Улаанбаатар хотын ачааллын судалгаа, 2022 он
- [2] Цахилгаан байгууламжийн техник ашиглалтын дүрэм
- [3] УБЦТС ТӨХК-ийн сүүлийн 10 жилийн тасралтын судалгаа, 2021 он
- [4] УБЦТС ТӨХК-ийн жишсэн нэгжийн судалгаа, 2021 он
- [5] УБЦТС ТӨХК-ийн сүүлийн 10 жилийн кабелийн гэмтлийн судалгаа, 2021 он
- [6] З.Цэрэндорж, Л.Ганзориг, Г.Бэхбат “УБЦТС ТӨХК-ийн 6, 10, 35 кВ-ын шугам сүлжээний дотоод хэт хүчдэл ба түүнийг хязгаарлах техникийн арга хэмжээ судалгааны ажлын тайлан, 2015 он
- [7] А.А.Кузьмин “Аннотированный технический отчет” по теме «выбор оптимального режима заземления нейтрали сети 6 кВ ПС Дервен зам, Эсгийлэх, сети 10 кВ ПС Нарлаг, сети 35 кВ ТЭЦ-3» Новосибирск, 2015 года

[8] З.Цэрэндорж, Ц.Эрдэнэчимэг “Дотоод хэт хүчдэл ба тусгаарлагын хэмжилт-оношилгоо”, УБ. 2012 он.

[9] Б.Мандах, Ж.Арслан “Цахилгаан хангамжийн реле хамгаалалт, автоматик”, УБ. 2006 он.

[10] Ж.Бат-Эрдэнэ “Эрчим хүчний системийн реле хамгаалалт” УБ. 2016 он

[11] УБЦТС ТӨХК-ийн 85 жилийн ойг тохиолдуулан зохион байгуулагдсан “Онол практик”-ийн бага хурлын илтгэлүүд, УБ 2017 он.

**Summary:** Due to population growth and the influx of people from rural areas, the size of the capital city has expanded significantly, and electricity consumption has increased by an average of 6.7 percent annually. Due to this increase in load, the number of transmission lines and equipment has increased, and these lines and equipment are operating at high loads. As a result, overcrowding overhead transmission lines and cables exceeded the norm, and it was necessary to change the neutral point mode by using an arc-extinguishing coil or active resistor to reduce, limit, and prevent further single-phase grounding and internal overvoltages. In order to reduce the current of this capacity, 16 substations of 35-110 kV were switched to resistive earthing mode and the results of the study, calculations and actual tests were introduced, which gradually introduced single-phase earthing protection.

**Keywords:** Neutral point mode, single-phase grounding current, single-phase grounding protection, cable damage

## БЭЛЭН БОЛСОН ГУРИЛАН БҮТЭЭГДЭХҮҮНИЙГ ГАРААР ЗӨӨХ ДАМЖЛАГЫГ IRB120 ABB РОБОТ ГАР АШИГЛАН АВТОМАТЖУУЛАХ БОЛОМЖИЙН СУДАЛГАА

О.Батсайхан<sup>1</sup>, Б.Билгүүн<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Монгол улс, Улаанбаатар, Талх-чихэр ХК

<sup>2</sup> Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Цахилгааны техникийн салбар  
[batsaivan325@gmail.com](mailto:batsaivan325@gmail.com), [bilguun.b@must.edu.mn](mailto:bilguun.b@must.edu.mn)

*Хураангуй*–Техник технологи хөгжихийн хэрээр үйлдвэрлэлийн бүхий л салбар гар ажиллагаанаас татгалзаж автоматжуулсан систем рүү шилжиж байна. Үйлдвэрийн процесс гар ажиллагаагаар ажиллах үед эвдрэл гэмтэл гарах магадлал харьцангуй их бөгөөд үйлдвэрийн бүтээмж бага байна. Автоматжуулсан системийг анхлан үйлдвэрт нэвтрүүлэхээр төсөвлөхөд хөрөнгө мөнгө их шаардлагатай байдаг. Гэвч урт хугацааны дараа эдийн засгийн хувьд илүү ашигтай мөн автоматжуулсан систем нь аюулгүй байдлыг хангаж өгдөг давуу талтай. Талх чихэр үйлдвэрт пийшингээс гарж буй талхыг зөөх дамжилган дээрх механик төхөөрөмж эвдэрч засагдах боломжгүй болсны улмаас гар ажиллагаагаар зөвсөөр байна. IRB120 ABB робот гар ашиглан бэлэн болсон бүтээгдэхүүнийг зөөх процессыг RobotStudio 6.08 программ дээр роботын ажиллах дарааллыг загварчлан симуляци гүйцэтгэсэн бөгөөд IRB120 ABB робот гарын урд хэсэгт бэлтгэгдэх хавчих механизмыг solidWork 2018 программ дээр загварчлан хийж гүйцэтгэв.

*Түлхүүр үг*–*бүлэг, RobotStudio, Робот гарын загварчлал, Үйлдвэрийг процессын автоматжуулалт, IRB120 ABB робот гар.*

### I. УДИРТГАЛ

Үйлдвэрлэлийн салбарт автомат робот-д суурилсан автоматжуулсан системийн хэрэглээ өдрөөс өдөрт өсөн нэмэгдэж байна. Үйлдвэрлэлийн роботыг бараа материал зөөвөрлөх, эд анги угсрах, гагнуур хийх, тастах, будах зэрэг үйлдвэрийн төрөл бүрийн процесс-д өргөн ашиглаж байна. Манай улсын дийлэнх үйлдвэрүүдэд хүний оролцоотой үйлдвэрийн дамжлага ихээр байдаг ба үйлдвэрийн бүтээмж, бүтээгдэхүүний чанарыг нэмэгдүүлэхийн тулд робот ашиглах шаардлага зайлшгүй гарч байна. Автоматжуулалтын хамгийн гол зорилго бол хүний оролцоогүйгээр алдаа мадаггүй даалгавраа гүйцэтгэх явдал юм [1].

Манай улсад IRB 120 робот гарыг ашигладаг үйлдвэр хараахан байхгүй байгаа нь үйлдвэрийн автоматикийн салбар хаана явж байгааг харж болно. Харин дэлхий нийтээр робот гарын хэрэглээ үйлдвэрлэлийн салбарт сүүлийн жилүүдэд хурдацтай нэмэгдэж байгаа нь хүний оролцоотой хийдэг нарийн процессыг гүйцэтгэх техникийн бүрэн боломжтой болсон нь харагдаж байна. Тиймээс манай орны үйлдвэрлэлийн салбарын хувьд робот гарын хэрэглээг нэмэгдүүлэх, тоног төхөөрөмжийн судалгаа хийх, одоо ажиллаж байгаа үйлдвэрүүдийн технологийн процесс нэвтрүүлэх боломжийг судлах зайлшгүй шаардлага тулгараад байна. Улмаар манай улсын үйлдвэрлэлийн салбар сүүлийн үеийн бүрэн автомат систем рүү үе шаттай шилжих шаардлага зайлшгүй гарч байна [3].

ABB IRB120 робот гар нь ABB компанийн цуврал бөгөөд хамгийн жижиг робот юм. Ердөө 25 кг жинтэй, илүү том загваруудаас илүү онцлог, техникийн боломжийг санал болгодог ба ямар ч тоног төхөөрөмжтэй хослуулан суурилуулж, ажиллуулах боломжтой. Энэхүү авсаархан зургаан тэнхлэгт робот нь 3кг хүртэл ачааг даах чадвартай. IRB120 ABB-ийг ямар ч өнцгөөр удирдах, ажиллуулах уян хатан боломжтой. IRB120 ABB-ийн кабель нь уян хатан ажиллагаатай байхын тулд гарын дотор байрлуулсан байдаг. IRB120 робот нь хөнгөн цагаан их бие хүчирхэг авсаархан моторыг хослуулан хурд, нарийвчлалтай хөдлөх чадварыг бий болдог. IRB120 нь жижиг зайд өндөр нарийвчлалтай хөдөлгөөнийг хянахын тулд IRC5 compact ашигладаг [9]. Энэхүү робот нь IRC5 compact-ийг компьютертой холбож Robotstudio программ хангамжийн тусламжтайгаар ажиллуулж болох бөгөөд өөрийн flexPendant-ийг IRC5 compact-тай холбож давхар ашиглаж болдог давуу талтай [10].

### II. ТЕХНОЛОГИЙН ПРОЦЕССЫН ДАРААЛАЛ

- A. *IRB 120 робот гарын гүйцэтгэх технологийн процесс*  
“Милл хаус” ХХК үйлдвэрээс бүтээгдэхүүн үйлдвэрлэх гурил орж ирнэ.
1. Үйлдвэрээс орж ирсэн гурилыг силос-нд 14 хоног дэвтээдэг.
  2. Дэвтэж дууссан гурилыг зуурагч давс, ус хөрөнгө хийж 12 минут зуурч цааш тастагч машин руу оруулж өгдөг

3. Тастагч нь 1 зуурмагийг 320-оос 350 грамм тастагч цааш конвейероор дамжиж босголтын шкаф руу орно.
4. Босголтын шкаф-нд 50 минут уурын температурын нөлөөгөөр өндийж өгнө.
5. J4 пийшин-рүү 40 минут жигнэнэ
6. Гарч ирсэн талхтай формыг ажилтан гар аргаар формыг талхнаас салгаж цааш конвейероор зуурмаг тастагч машин уруу чиглүүлж харин талх нь хөргөлтийн цамхаг явах хэсэг рүү конвейероор явна.
7. Хөргөлтийн цамхагт орсноор 3 цаг хөргөж өгнө.
8. Хөрсөн талхыг цааш конвейероор дамжиж зүсэгч машин уруу очно. Зүсэгч машин нэг ижил хэмжээгээр хэсэгчлэн зүснэ.
9. Зүссэний дараа ам боогч машин талхны амыг бооно.
10. Боосон талх цааш конвейер дамжин талх байрлуулах цэг рүү очно.
11. Бүх талх бөөгнөрсөн хэсгээс хэрэглэгч рүү түгээгч машин цааш хүргэж өгнө.

Формтой талхыг салгах үйлдлийг ажилтан гараар гүйцэтгэж байгаа энэхүү технологийн процессыг уг судалгааны ажлаар IRB 120 робот гарыг ашиглан хэрхэн гүйцэтгэх боломжийг судалж загварчилсан.



1-р зураг. Технологийн процессын бүдүүвч зураг. (Үйлдвэрийн ургац шугамын ажиллах процесс)

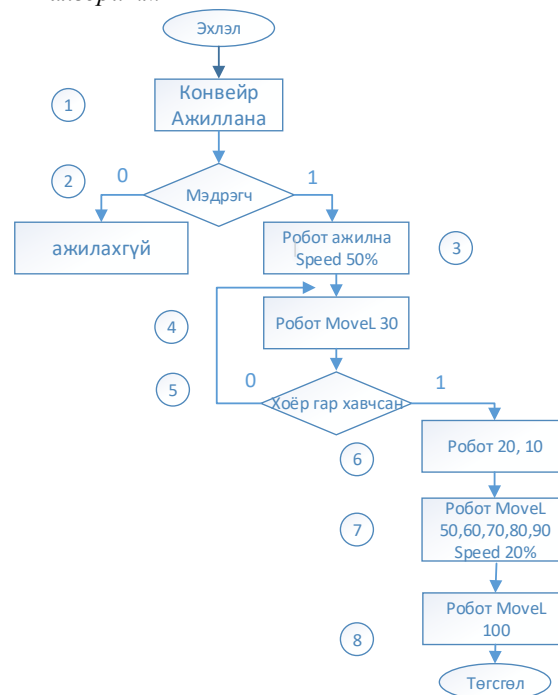


2-р зураг. Үйлдвэрийн гар аргаар талхтай форм зөөх процесс. (нийшингээс гарсан талхыг савлагааны хэсэг рүү явах конвейер шилжүүлнэ мөн цааш хоосон формыг зуурмаг тастах хэсэг рүү өгнө)

Үйлдвэр 4 ээлжээр 24 цагаар тасралтгүй ажилладаг. Пийшингээс гарах формтой талхыг авч нөгөө талын зуурмаг тастагч машин уруу хоосон формыг явуулна. Харин талх доош конвейер-оор дамжин хөргөлтийн цамхагт орж 2 цаг хөргөлтийн цамхагаар явна. Ингэснээр талх

бүрэн хөрнө. Тиймээс ажилтан тасралтгүй ажиллах үед ажлын ачааллаас болж ядрах, болон эвдрэл саатал гарахад ажилтан өөрөө гэмтэх аюултай байдаг. Тиймээс энэхүү процессыг IRB 120 робот гараар гүйцэтгэвэл тасралтгүй найдвартай ажиллагааг хангах боломжтой юм [2].

**В. IRB 120 ABB робот гарны ажиллагааны алгоритм**



3-р зураг. IRB 120 ABB алгоритм. (талхтай формыг зөөх процесс)

Робот гарын ажиллах үеийн алгоритмын тайлбар.

1. Конвейер байнгын ажиллана.
2. Мэдрэгч мэдрээгүй үед робот ажиллахгүй. Харин мэдрэгч мэдрэх үед робот ажиллана.
3. Форм конвейер-оор ирэх үед мэдрэгч мэдрэснээр Робот анхны байрнаас формыг авах байрлалд шилжин хөдөлнө.
4. MoveL 30 байрлал дээр ирэх үед формыг хавчиж робот гар 50% хурдтай явна.
5. Формтой талхыг хавчигдаагүй бол Робот MoveL 30 байрлалдаа ахиж хавчин формтой талх хавчигдсан үед явна.
6. Робот MoveL 20 байрлал уруу дээш өргөж цааш MoveL 10 байрлал уруу ирэх үед Axis 6 зүүн тийш эргэн. MoveL 40 байрлал уруу ухарна.
7. MoveL 50 дээрээс MoveL 60 байрлал уруу axis 6 хэсэг баруун тийш эргэж дараагийн MoveL 70 байрлал уруу баруун тийш явна. MoveL 80 байрлалд очих үед роботын хавчих хэсэг нээгдэж формыг үлдээнэ. MoveL 90 байрлал уруу роботын гар дээшилнэ

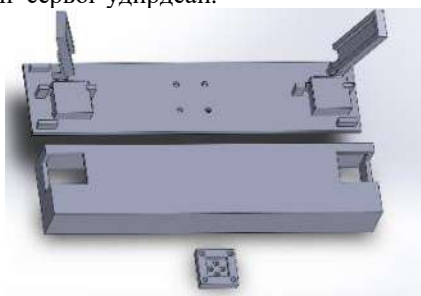
8. Дараагийн байрлал болох MoveL 100 байрлалд очиж дараагийн форм ирэхийг хүлээнэ.

### III. SOLIDWORK PROGRAMMYN ДЭЭРХ ЗАГВАРЧЛАЛ

IRB 120 ABB робот гарын урд талын хавчих хэсэг болон талхны формыг SolidWork2018 программ дээр зурж загварчлав.

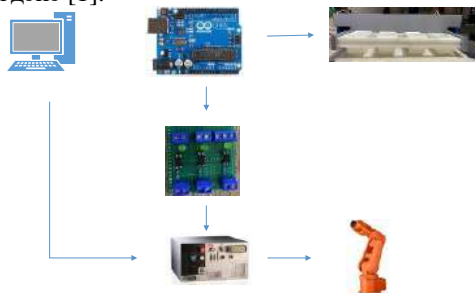
A. SolidWork программ дээр хавчих хэсгийг загварчлал.

Робот гарын удирдлагын хэсэг болон SolidWork программ дээр хавчих механизмд ардиано ашиглан сервог удирдсан.



4-р зураг. Робот гарын загварчлал. (SolidWork программ дээр зурж гүйцэтгэв)

Arduino uno ашиглан хавчих хэсгийн удирдлагыг хийж гүйцэтгэв. Компьютероос robotStuudio программын тусламжтай IRC5 compact PLC нь optocouper PC 817 ашиглан 24V ийг input авч Output 5v ийг Arduino оролтын сигналыг өгч ардиано гаралтад хоёр серво 90° болон 0° өнцөг үүсгэж формыг хавчих болон нээгдэнэ [1].



5-р Зураг. IRB120 гар роботын бүтцийн схем. (Холбогдох дараалал)

A.PC-817 Optocoupler

1-Р ХҮСНЭГТ. OPTOCOUPLER INPUT AND OUTPUT

Input and Output table	
Input signal	Output signal
24V	5V

<sup>a</sup>ХРС-817 оролт болон гаралт. (ХРС-817 ашиглан өөрийн Ардиано болон IRC5 compact PLC хооронд дамжуулах board)

Хавчих хэсгийн удирдлагын микро-контроллер деталууд



6-р зураг. Хавчих хэсгийн удирдлагын контроллер. (Ардиано Уно ашиглан серво –ийн 90°өнцөг үүсгэж хавчих хэсгийг хийж гүйцэтгэв)

2-Р ХҮСНЭГТ. СЕРВО БОЛОН АРДИУНО ҮЗҮҮЛЭЛТ, ЧАДАЛ

Төрөл	Тоо	Үзүүлэлт
ArduinoUno	1ш	5V
Servo MF-06 S06NF	2ш	9V; 13 кг ; Power 2.7W
Adapter	1ш	5V; 9V 1A

<sup>b</sup>Серво болон ардиано үзүүлэлт. (Arduino болон серво, adapter нь 9V, 5V тус ашиглав)

B. SolidWork программ дээрх талх орох формын загварчлал.

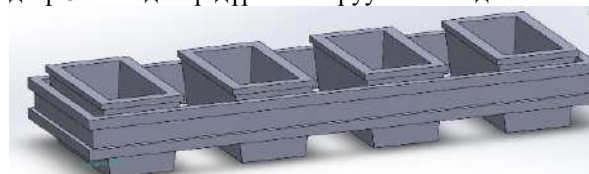
Талх орох формыг solidWork программ дээр загварчлан оруулсан.

1) Талх орох формын өөрийн бодит байдал  
Формын жин 1,8кг ба талхтай байх үеийн жин нь 2,5 кг ба формын урт 52см, өргөн 17см байдаг. 7-р зурагт формын харагдах байдал болон жинг харуулав.



7-р зураг. Талх орох форм. ( жин болон хэмжээ)

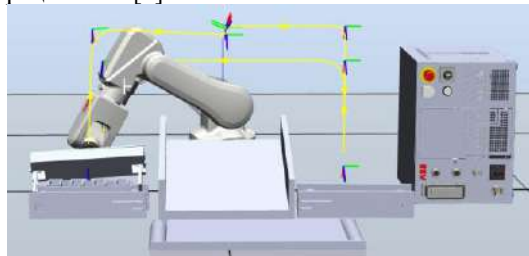
2) SolidWork программ дээр загварчлал  
Доор үзүүлсэн 8-р зурагт SolidWork программ дээр 3D байдлаар дүрслэн харуулсан байдал.



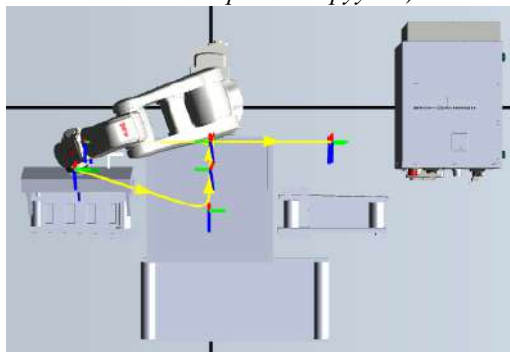
8-р зураг. SolidWork программ дээр зурсан формын харагдах байдал. (Формын хэмжээг хоёр дахин багасгаж загварчилсан)

#### IV. ROBOTSTUDIO 6.08 ПРОГРАММ ДЭЭР ТЕХНОЛОГИЙН ПРОЦЕСС-ИЙН ЗАГВАРЧЛАЛ

RobotStudio 6.08 программ хангамж дээр жигнэх хэсгээс гарч ирсэн формтой талхыг IRB120 ABB робот гараар формыг хөмөрч талхыг хөргөлтийн цамхаг явах конвейер дээр тавина үүний дараа формыг зуурмаг тастагч машин уруу явах конвейер дээр байрлуулах процессыг гүйцэтгэсэн [8].

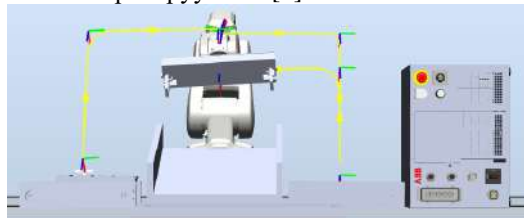


9-р зураг. IRB120 ABB робот-ийг RobotStudio 6.08 программ дээрх загварчлал. (Энэ роботын урд талаас нь явах зарчмыг харуулав)



10-р зураг. IRB120 гар роботын хөдлөх дарааллыг дээрээс харуулав. (Дээрээс хархад робот гарын урагшаа талхыг буулгах болон ухарч байрлалдаа орох үе нь илүү тод харагдах болно)

Урд талаасаа ерөнхий форм ирэх үед талхтай формыг очиж конвейер-оор moveL 30 байрлалаас очиж авна. Дараагийн байрлал moveL50 байрлал дээр роботын урд талын Axis 6 эргэж талхыг буулгаж урагшилна. Талх унах уед робот ухарч moveL 70 байрлалд буцаж ухарна. Тэгээд дараагийн байрлал хүртэл формыг зөөж moveL 100 байрлал дээр хоосон формыг тавина. Анхны байрлалруу явна [7].



11-р зураг. IRB120 гар роботын анхны байрлалын зарчим харуулав. (Урдаас хархад робот гарын эхлэх үеийн байрлал харагдах болно)

#### V. ЦААШИД ХИЙГДЭХ АЖИЛ

Энэхүү технологийн процессыг бүрэн автоматжуулах боломжтойг энэхүү өгүүлэлд гүйцэтгэсэн загварчлал, симуляцийн үр дүнгээс харж болохоор байна.

SolidWork программаас 3D принтерээр формыг хэвлэсэн. Гарын хавчих хэсгийг мөн хэвлэж удирдлагыг хийж гүйцэтгэсэн.



12-р зураг. 3D printer хэвлэж ажиллуулав. (Формыг хавчсан байдал)



13-р зураг. Робот гар нээгдэх. (Формыг хавчаагүй байх үе)

Цаашид энэхүү судалгааны ажлаар Эрчим хүчний сургуулийн “Үйлдвэрийн автоматжуулалт, хиймэл ухааны судалгааны лаборатори”-ийн IRB120 ABB робот гарыг ашиглан туршилтын бодитоор гүйцэтгэж симуляцийн үр дүнтэй харьцуулан, улмаар үйлдвэрлэлд бүрэн нэвтрүүлэх боломжийн судалгааг гүйцэтгэх зорилготой.

#### VI. ДҮГНЭЛТ

Формтой талхыг зөөх хөмрөх процессыг нь ажилтан дунджаар 1 минут гүйцэтгэх ба харин IRB 120 робот гарыг ашигласнаар тухайн процессыг 35 секундэд гүйцэтгэх боломжтой нь симуляци үр дүнгээс харагдаж байна. Үүнээс үзэхэд аюулгүй ажиллагаа сайжирч цаг хугацааны хувьд үр ашигтай болох юм.

Нийтдээ 4 ээлжээр 4 хүн нэг сар ажиллахад цалингийн зардалд ойролцоогоор 5 сая төгрөг зарцуулж байна. Робот гар нь одоогоор зах зээлд 99 сая үнэтэй ба үүнээс үзэхэд урт хугацаандаа эдийн засгийн хувьд үр ашигтай ажиллах боломжтой. Туршилтын үр дүнгээс үзэхэд робот гарын тусламжтай форм зөөх процессыг бүрэн автоматжуулах боломжтой харагдаж байна.

Цаашид үйлдвэрлэлийн бүхий л салбарт гар ажиллагаатай дамжлагыг робот гарын тусламжтай бүрэн автоматжуулах, тухайн процессыг загварчлан симуляци гүйцэтгэж туршилт судалгаа явуулах боломжтой юм.

#### VII. НОМ ЗҮЙ

- [1] Robotics: advanced concepts & Analysis – Elements of robo: joints, links, actuators & sensors NPTEL, 2010
- [2] Mechanism Design for Robotics “Symposium on Mechanism Design for Robotic 2019.
- [3] Robotics – Designing the Mechanisms 2003
- [4] VISUAL CONTROL OF ROBOTS: High – Performance Visual Servoing , 1996.

- [5] MODERNROBOTICS MECHANICS,2011.
- [6] THE BASICS OF ROBOTICS : LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU Tekniika. Elissa, “Title of paper if known,” unpublished.
- [7] ROBOTICS- Designing the Mechanisms for Automated Machinery .1991 Academic press Introduction to Robot Geometry and kinematics 1990
- [8] ROBOTICS- Operating manual RobotStudio 2021.4
- [9] ROBOTICS- Product manual IRB120 ABB 2003-2010
- [10] Operating manual Trouble shooting, IRC5 ABB 2005-2.

## ДЕФИБРИЛЛЯТОРЫН АППАРАТНЫ ГАРАЛТЫН ПАРАМЕТРИЙН СУДАЛГАА

П.Жавхлан<sup>1</sup>, Х.Сарангэрэл<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Монгол улс, Улаанбаатар, Цэргийн Төв Эмнэлэг

<sup>2</sup> Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Цахилгааны техникийн салбар  
[sarangerel@must.edu.mn](mailto:sarangerel@must.edu.mn)

*Хураангуй*—Дефибрилляторын аппарат нь зүрхний хэм алдалтын үед зүрхний булчингийн үйл ажиллагааг сэргээх зорилгоор ашигладаг төхөөрөмж юм. Уг аппарат нь тогтмол гүйдлийн тусламжтайгаар зүрхний булчинд тархмал, түр зуурын хэт туйлшрал үүсгэж зүрхний ховдол, тосгуурын хэвийн агшилтыг сэргээдэг. Ховдолын фибрилляци (VF) болон импульсгүй ховдолын тахикарди (VT) -ийн дефибрилляци нь зүрхний эмгэгтэй өвчтөнүүдийн үр дүнтэй эмчилгээ юм. Зүрх уушигны сэхээн амьдруулах эмчилгээний үед цээжний шахалтаар хэмнэлийг тодорхойлоход хэцүү байдаг. Дефибрилляторын аппаратын гаралтын бодит утга нь үйлдвэрлэгчийн стандарт хэмжээнээс зөрүүгүй байх ёстой. Эмчилгээний үеийн үр дүн, аюулгүй байдлыг хангахын тулд шалгалт тохируулгат хамрагдсан хэвийн ажиллагаатай дефибрилляторын аппаратыг ашиглах нь эмчилгээг үр дүнтэй явуулах чухал ач холбогдолтой юм. Энэхүү судалгааны гол зорилго нь таван өөр төрлийн дефибрилляторын цахилгаан гаралтын параметрийн харьцуулах явдал байв.

*Түлхүүр үг*— Дефибрилляторын цахилгааны гаралтын параметр, хэмжилтийн үр дүн

### I. ОРШИЛ

Дэлхийн даяар жилд дунджаар 17.5 сая хүн, манай улсад 5000 гаруй хүн зүрх судасны өвчлөлөөр нас барж байна гэсэн судалгаа байдаг [1]. Манай улсын эмнэлгүүдийн эрчимт эмчилгээний тасаг, нэгжүүдэд фибрилляци зүрхний эмгэг өвчнийг эмчлэх аппарат нь зүрх судасны сэхээн амьдруулах эмчилгээний хамгийн чухал хэсгийн нэг юм.

Энэ нь өвчтөнийг шууд хянах боломжийг олгохын зэрэгцээ зүрх зогсоход түүнийг сэргээх боломжийг олгодог.

Насанд хүрэгсэдтэй харьцуулахад нярай болон хүүхдэд зүрх зогсох шалтгаан нь зүрхний бие даасан эмгэгийн шалтгаантай байхаас илүүтэй хоёрдогчоор амьсгалын дутагдал, шок, бүтэлтийн улмаас зүрхний ховдол (шахах камер) цусаа гүйцэд шахаж чадахгүй болж улмаар зүрхний шигдээс болж цусны даралтыг багасгаж, амин чухал эрхтэний цусны урсгалыг бууруулж, хүндрэх эрсдлийг нэмэгдүүлж гэнэтийн үхлийн шалтгаан болдог [2].

Аппаратны бэлэн байдлыг хангахын тулд хуваарьт техник үзлэг, үйлчилгээг тогтмол чанартай хийх хэрэгтэй. Учир нь уг аппаратны ажиллагаанаас хамаарч өвчтөний амь тэнсэн үеийн тусламжийн үр дүн шууд хамааралтай бөгөөд аливаа техникийн доголдол өвчтөнийг үхэлд хүргэж болзошгүй эрсдэл дагуулдаг байна.

Үүнтэй холбоотой уг аппаратны хүрэлцээ болон ашиглалтын үеийн техникийн аюулгүй байдлыг хангасанаар зүрх судасны сэхээн амьдруулах тусламжийн үеийн өвчтөний аппаратны ажиллагаанаас шалтгаалах нас баралтаас урьдчилан сэргийлэх ач холбогдолтой.

Судалгаанд III шатлалын эмнэлгүүдийн яаралтай тусламж, эрчимт эмчилгээний тасагт

ашиглагдаж байгаа дефибрилляторын аппаратуудыг хамруулсан бөгөөд 1-р хүснэгтэд ашиглагдаж байгаа дефибрилляторын аппаратуудыг нэгтгэн харууллаа.

Үйлдвэрлэгч орны хувьд нийт 5 улсад үйлдвэрлэгдсэн аппаратууд голчлон байсан бөгөөд 2, 4, 8, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200, 300, 360 жоуль хүртлэх энергийн сонголттой аппарат 40 хувь, 2–200 жоуль энерги бүхий сонголттой аппаратууд дийлэнх хувийг эзэлж байв.



1-р зураг. Автомат дефибриллятор

Мөн Америк нэгдсэн улсын зүрх судасны нийгэмлэг, манай улсын энэ төрлийн нийгэмлэгийн сүүлийн үеийн зөвлөмж, эмнэлгүүдийн практик хэрэглээ зэргийг харгалзан үзэж 8 Ж, 50 Ж, 100 Ж, 200 Ж утгыг сонгон туршилтийг хийсэн.

АНУ-д үйлвэрлэсэн Fluke Impulse 4000 defib/pacer загварын /Энерги нь 2-360 жоуль, нарийвчлал нь  $\pm 15$  хувь, хэмжих хүчдэл нь 5000 В, ачааллын эсэргүүцэл нь 100 Ом, давтамж 50 Герц, 10 ms /анализатороор хэмжилтийн судалгааг хийлээ.



**1-Р ХҮСНЭГТ. ДЕФИБРИЛЛЯТОРЫН  
АППАРАТЫН АШИГЛАЛТЫН СУДАЛГАА**

Д/д	Эмнэлэг	Тоо хэмжээ
1	УНТЭ	10
2	УХТЭ	6
3	УГТЭ	8
4	ЦТЭ	10
5	ТТАХНЭ	10

Энэхүү эрдэм шинжилгээний өгүүлэл нь Монгол Улсын гуравдугаар шатлалын эмнэлэгт ашиглагдаж байгаа дефибрилляторын аппаратуудын гаралтын утгыг тодорхойлж дүн шинжилгээ хийлээ.

**II. ОНОЛЫН ХЭСЭГ**

Дефибрилляторыг зүрхний гэнэтийн зогсолтын үед зүрхний хэмнэлийн цахилгаан импульс ашиглан сэргээр электрон төхөөрөмж юм. Шаардлагатай энергийг батерейгаар хангаж, энергийг конденсаторт хадгалан, электрод руу дамжуулах, зүрхэнд шууд эсвэл цээжний гадаргуугаар дамжуулдаг [3].

Зүрхэнд хэр ойрхон ажилладаг, цахилгаан гүйдэл хэрхэн дамждаг, хэрхэн ажилладаг зэргээс шалтгаалан хэд хэдэн төрлийн дефибриллятор байдаг. Үүнд: Гар тохируулгатай, автомат тохируулгатай, гадаад, дотоод, нэг фазын, 2 фазын гэх мэт.

*А.Гар ажиллагаатай гадаад дефибриллятор*

Бие махбодид орохгүйгээр цээжин дээр байрлуулсан электродоор дамжуулан цахилгаан цочрол өгөх төхөөрөмжийг гадаад дефибриллятор гэж нэрлэдэг. Зүрхэнд алслагдсан цэгээс цахилгаан гүйдэл өгдөг тул өндөр зэргийн энергийн түвшинг тохируулах замаар ашигладаг.

*В.Гар ажиллагаатай дотоод дефибриллятор* Биеийн гаднаас бус биед нэвтэрч, электродыг шууд зүрхэн дээр эсвэл зүрхэнд маш ойрхон байрлуулах замаар хэрэглэдэг төхөөрөмжийг хэлнэ.



2-р зураг. Гар ажиллагаатай дефибриллятор

*С.Автоматжуулсан гадаад дефибриллятор (AED- automated external defibrillator)*

AED нь хагас автомат эсвэл бүрэн автоматжуулсан байж болно. Программ хангамжийн тусламжтайгаар өвчтөний зүрхний хэмнэлийг хэмжих замаар автоматаар оношлож, операторт дэлгэцээр болон дуут хэлбэрээр дохио өгөх боломжтой. Автоматжуулсан аппарат нь нарийн мэргэжлийн бус орчинд хүртээмжийг нэмэгдүүлж, амь насанд аюултай хэм алдагдалд

өртөх өндөр эрсдэлтэй хүмүүст суулгаж болохоор ашиглах боломжтой болсон.



3-р зураг. Автомат дефибриллятор  
*Д.Суулгадаг кардиовертер-дефибриллятор (ICD- implantable cardioverter-defibrillator)*

Зүрхэнд мэс заслын аргаар арьсан доор, биеийн дотор суурилуулдаг бөгөөд зүрхний цохилт дэмждэг маш жижиг дефибриллятор юм.

Төхөөрөмжөөс гарч буй электрод нь дээд гол судлын замаар дамжиж зүрхэнд хүрдэг. Зүрхэнд ховдлын фибрилляци эсвэл импульсгүй цочрол өгдөг.



4-р зураг. Суулгадаг кардиовертер-дефибриллятор

Зүрхэнд шууд дамждаг тул өгөгдсөн цахилгаан энерги нь маш бага байна.

*Е.Зүүж хэрэглэдэг дефибриллятор*

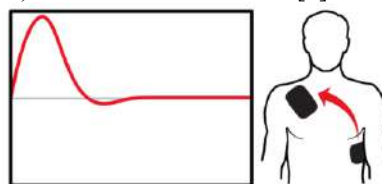


5-р зураг. Зүүж хэрэглэдэг дефибриллятор

Дефибрилляторыг мөн нэг фазын болон 2 фазын гэж ангилдаг.

Нэг фазын болон монофазын долгионы хэлбэрийн хувьд гүйдэл нэг чиглэлд, нэг электродоос нөгөө рүү урсаж, зүрхийг зогсоож, өөрөө дахин эхлэх боломжтой болдог. Монофаз нь үндсэндээ тогтмол гүйдэл юм.

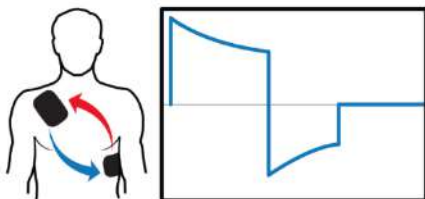
Цахилгаан нь нэг электродоос нөгөөд шилждэг. Электродуудын хооронд зүрхэнд нэг удаа цахилгаан цохилт өгнө. Тиймээс энергийн түвшин нь өндөр, 360 жоуль байдаг бөгөөд өвчтөний арьсыг түлэх, зүрхний булчин (миокарди) эдийг гэмтээдэг байна [4].



6-р зураг. Нэг фазын долгионы хэлбэр болон гүйдлийн чиглэл

Харин хоёр фазын дефибрилляторууд 120-200 жоулын энергийн хооронд өвчтөнд 2 фазын импульс үүсгэдэг. Хоёр фазын долгионы хэлбэрийн хувьд гүйдэл нь электродуудын хооронд эерэг болон сөрөг гэсэн хоёр чиглэлд урсдаг: Эхний гүйдэл аль чиглэлд гүйхээс үл хамааран хоёр дахь гүйдэл нь эсрэг чиглэлд дамждаг. Электродуудын хоорондох зүрх рүү хоёр дараалсан цахилгаан цочрол хэрэглэдэг.

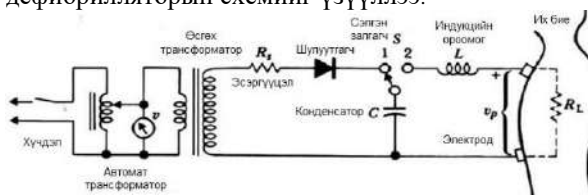
Хоёр фазын долгионы хэлбэр нь монофазын долгионоос илүү үр дүнтэй, бага энергийн түвшин ашигладаг тул зүрхийг гэмтээх эрсдэл багатай.



7-р зураг. 2 фазын долгионы хэлбэр болон гүйдлийн чиглэл

Аюулгүй байдал, үр дүнг нэмэгдүүлэхийн тулд орчин үеийн ихэнх дефибрилляторын аппаратууд хоёр фазын долгионы хэлбэрийг ашигладаг бөгөөд дефибрилляци хийхэд ашигладаг.

Дефибрилляторын аппарат нь тэжээлийн эх үүсвэр, хувьсах, өсгөх трансформатор, шулуутгагч, конденсатор, унтраалга, электрод зэрэг бүрэлдэхүүн хэсэгтэй. 8-р зурагт дефибрилляторын схемийг үзүүлээ.



8-р зураг. Дефибрилляторын схем

Конденсатор бол дефибрилляторын хамгийн чухал хэсэг юм. Конденсатор цахилгаан энергийг өөрчлөх, хадгалах боломжийг олгодог бөгөөд дамжуулж буй энергийн хугацаа, хэмжээ, долгионы хэлбэрийг өөрчилдөг. Конденсатор нь тусгаарлагч (агаарын давхарга)-аар тусгаарлагдсан хос дамжуулагч (метал хавтан) цахилгаан энергийг цахилгаан цэнэг хэлбэрээр хадгалдаг элемент. Конденсаторт тухайн цэнэгийн чадлын хувьд хуримтлагдсан цахилгаан цэнэгийн хэмжээг ялтсуудын гадаргуугийн талбай, тусгаарлах давхаргын зузаан ба цэнэг (зөвшөөрөгдөх чадвар) хадгалах чадвараар тодорхойлно. Конденсаторыг цэнэггүй болгох үед энерги нь огцом унаж, зарим энерги нь хэлхээний эсэргүүцэл, индуктор ба электродоор алдагддаг [3]. Өвчтөнд энерги дамжуулахын тулд электрод цээжинд байрлуулна.

Хэрэв  $V$  хүчдэл болон  $C$  багтаамж мэдэгдэж байгаа бол хуримтлагдсан  $E$  энергийг дараах тэгшитгэлээр тооцоолно [6].

$$E_s = \frac{1}{2} \times C \times V^2 \quad (1)$$

Шулуутгагч нь конденсатор цэнэглэх хэлхээнд хувьсах гүйдлийн хүчдэлийг тогтмол хүчдэл болгон хувиргадаг. Дефибрилятор нь гаралтын хэлхээнд индуктортой байдаг. Индуктор нь дамжуулсан гүйдэлд хамгийн тохиромжтой хэлбэр, үргэлжлэх хугацааг уртасгаж өгдөг. Хоёр фазын дефибрилляторын хувьд дефибрилляци хийхэд шаардагдах үр дүнтэй энерги бага байх тул бага конденсатор шаардагдана. Дефибрилляторын энергийн түвшинг хянаж болох хүчдэлийн далайцыг варактор буюу хувьсах багтаамжтай диод, импульсийн үргэлжлэх хугацааг өөрчлөх замаар тодорхойлно [5].

### III. СУДАЛГААНЫ ХЭСЭГ

IEC 60601-2-4:2010 стандарт нь зүрхний дефибрилляторын аюулгүй байдал, гүйцэтгэлийн үндсэн шаардлагыг тогтоодог бөгөөд энэ тусгай стандартын дагуу энергийн нарийвчлалыг 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175 Ом эсэргүүцэлээр хийгддэг. Монгол улсад III шатлалын эмнэлгүүдийн яаралтай тусламж, эрчимт эмчилгээний тасагт нийт 30 дефибрилляторын аппаратууд ашиглагдаж байна. Тэдгээрээс 5 төрлийн дефибрилляторын аппаратууд (Mindray Bene heart D3, Schiller Defigard 5000, HD-9000 D, Zoll M, Life pack 12)-ыг ашиглан 50 Ом эсэргүүцэлтэй үед, 200 Ж, 100 Ж, 50 Ж энергийн түвшинд Fluke Impulse 4000 загварын зүрхний аппаратын анализатор ашиглаж гурван удаагийн давталттайгаар гаралтын гүйдэл, хүчдэл, энергийн утга, импульсийн утга зэргийг хэмжиж авсан. Санамсаргүй тасалдлаас урьдчилан сэргийлэх зорилгоор батерейны горимд үндэслэн хийсэн [7].



9-р зураг. Дефибрилляторын анализатор

Дефибрилятор аппаратын анализатор нь дефибриллятораар дамжуулж буй импульсийн энергийг хэмжих зориулалттай. 6-р зурагт үзүүлсэн хоёр фазын долгионы хэлбэр гэх мэт дурын долгионы импульсийн энергид

ОЮУТНЫ ЭРДЭМ ШИНЖИЛГЭЭНИЙ БҮТЭЭЛИЙН ЭМХЭТГЭЛ – 2022

агуулагдах энергийг тооцоолохдоо дараах томъёогоор олно [8].

цаг хугацааны функц, T = импульсийн үргэлжлэх хугацаа юм. R нь ачааллын эсэргүүцэл юм.

$$E = \int_0^T v(t) i(t) dt = \frac{\int_0^T v(t)^2 dt}{R} \quad (2)$$

үүнд: E нь гарах импульсийн энерги, v(t) нь цаг хугацааны функц болох хүчдэл, i. (t) гүйдлийн

**ХҮСНЭГТ.2 ДЕФИБРИЛЛЯТОРЫН АППАРАТЫН ГАРАЛТЫН СУДАЛГАА**

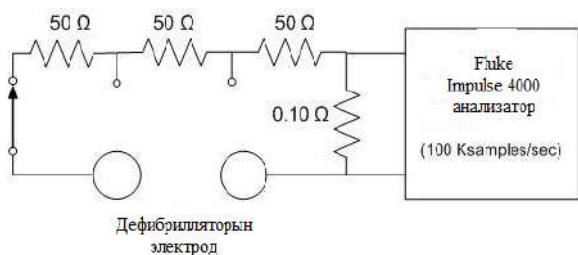
Дефибрилляторын загвар	Mindray Bene heart D3			Schiller Defigard 5000			HD-9000 D			Zoll M series			Life pack 12		
Гаралт	200 Жоуль														
Хэмжилт ын дугаар	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Энерги J (жоуль)	192	189.9	191.2	184.8	191.5	193.9	215.9	214	212.7	181.6	180	181.7	186	186	186.7
Хүчдэл V	1372	1363	1366	2516	2528	2537	2510	2498	2495	2063	2060	2063	2285	2285	2288
Гүйдэл A (peak) I	27.4	27.3	27.3	50.3	50.6	50.7	50.2	50.0	49.9	41.3	41.2	41.3	45.7	45.7	45.8
Цэнэглэх хугацаа ms 50%	7.50	7.50	7.55	2.00	2.00	2.10	2.20	2.20	2.15	2.70	2.70	2.70	2.25	2.25	2.25
Цэнэглэх хугацаа ms 10%	7.65	7.65	7.65	2.60	2.45	2.40	6.85	6.85	6.95	6.70	6.70	6.70	7.05	7.10	7.05
100 Жоуль															
Хэмжилт ын дугаар	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Энерги J (жоуль)	95.4	95.2	96.6	92.5	91.9	92.6	106.3	108.3	109.4	91.0	91.0	91.3	93.4	93.6	93.7
Хүчдэл V	967	967	974	1679	1676	1682	1768	1786	1795	1463	1463	1466	1640	1640	1640
Гүйдэл A (peak) I	19.3	19.3	19.5	33.6	33.5	33.6	35.4	35.7	35.9	29.3	29.3	29.3	32.5	32.8	32.8
Цэнэглэх хугацаа ms 50%	7.45	7.45	7.45	2.05	2.00	2.00	2.15	2.15	2.15	2.70	2.70	2.70	2.20	2.20	2.20
Цэнэглэх хугацаа ms 10%	7.70	7.70	7.65	2.40	2.40	2.35	6.80	6.80	6.75	6.65	6.70	6.65	6.95	6.95	6.95
50 Жоуль															
Хэмжилт ын дугаар	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Энерги J (жоуль)	47.8	48.4	48.9	47.5	48.7	48.0	51.7	52.4	53.2	45.2	45.4	45.5	48.9	48.9	49.0
Хүчдэл V	686	689	692	1275	1275	1278	1238	1247	1259	1031	1034	1034	1179	1178	1178
Гүйдэл A (peak) I	13.7	13.8	13.8	25.5	25.5	25.6	24.8	24.9	25.2	20.6	20.7	20.7	23.6	23.6	23.5
Цэнэглэх хугацаа ms 50%	7.45	7.50	7.50	2.05	2.10	2.00	2.10	2.10	2.10	2.70	2.70	2.75	2.30	2.30	2.25
Цэнэглэх хугацаа ms 10%	7.70	7.65	7.70	2.60	2.50	2.50	6.75	6.80	6.80	6.65	6.65	6.70	7.00	6.90	6.90

Дефибрилляторын гаралтын импульс нь дотоод ачаалал эсэргүүцэл R (ихэвчлэн 50 Ом) бүхий анализаторын хоёр сэлүүрт дамждаг.

Гүйдлийн дундаж утгыг дамжуулсан энерги, ачааллын эсэргүүцэл, долгионы хэлбэрийн үргэлжлэх хугацаа зэргээс авч болно [9].

Энд туршсан бүх таван дефибрилляторын хувьд хоёр фазын долгионы хэлбэрийн параметрууд нь 50 Ом-ын хоорондох ачааллын эсэргүүцлийн өөрчлөлтөд маш мэдрэмтгий

байдаг. Schiller дефибрилятор нь ачааллын бүх нөхцөлд хамгийн өндөр RMS гүйдлийг хүргэж байсан ч тогтоосон дээд тал нь 200 Ж -ээс 12-33%-иар илүү эрчим хүчийг дамжуулж чадсан. Мөн ачааллын эсэргүүцлийн өөрчлөлтөд хамгийн бага мэдрэмтгий байдаг [10].



10-р зураг. Дефибрилляторын туршилтын ачаалал

Fluke Impulse 4000 загварын зүрхний аппаратын анализаторын хэмжсэн хэмжилтийн үр дүнгээр 50 Ж, 100 Ж, 200 Ж энергийн утган дах аппаратуудын гүйдэл, хүчдлийн хамаарлын графикийг байгууллаа [11].

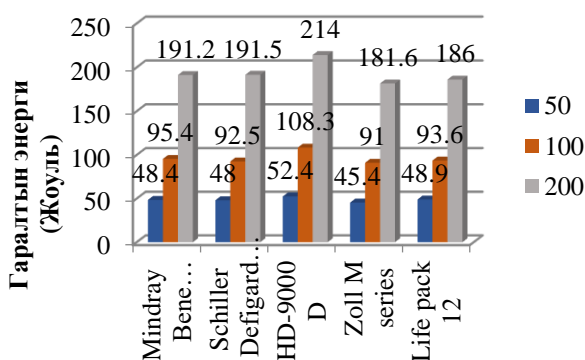


График 1. 50 Ж, 100 Ж, 200 Ж үе дэх аппаратуудын хүчдлийн хамаарлын график

Бүх дефибриляторуудаас бүх ачаалалд (HD-9000D -ээс бусад) дамжуулж буй энерги нь тэдгээрийн тогтоосон 50 Ж, 100 Ж, 200 Ж ( $p < 0.001$ ) утгаас статистикийн хувьд мэдэгдэхүйц ялгаатай байна [12].

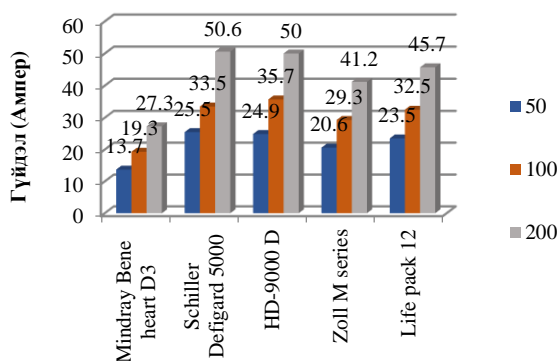


График.2 50 Ж, 100 Ж, 200 Ж үе дэх аппаратуудын гүйдлийн хамаарлын график

HD-9000D дефибрилятор нь дотоод гаралтын эсэргүүцлийг тохируулдаг тул түүний өгсөн энерги нь тогтоосон 200 Ж-ээс 7 %-иар их байна. Үр дүнг 2-р хүснэгтэд харуулав.

50 Ом ачаалалтай, 50 Ж, 100 Ж, 200 Ж-ын үед Schiller, Zoll, HD-9000D болон Lifepack загварын

12 аппаратын дундаж гүйдлийн утга нь энергийн гурван түвшинд стандарт түвшинд байна. Харин Mindray загварын аппаратны гаралтын гүйдлийн дундаж утга нь статистикийн хувьд 10-15%-иар бага байсан. Параметруудийг гаргахдаа гарын авлагыг нэг үе шатанд оруулж, дефибрилятор бүрийн гаралтын энергийг ерөнхий загвараар тайлбарлав. Энэ процедурыг сонгосон масштабын дагуу гаралт бүрийг 3 удаа давтсан болно.

#### IV. ДҮГНЭЛТ

Дефибрилляторын аппаратын үр дүнтэй, аюулгүй байдлыг хангахын тулд тэдгээрийн гаралтын энергийн түвшинг тогтмол хэмжиж байх ёстой. Олон улсын стандартууд дефибрилляторын энергийн функцийг нарийвчлалын шаардлагыг тодорхойлдог [13]. Хэрэв өвчтөнд өгөх энергийн хэмжээ урьдчилан тогтоосон хэмжээнээс бага байвал зүрхний хэмнэлийг хэвийн болгоход хангалтгүй болно. Эсвэл өвчтөнд зарцуулсан энергийн хэмжээ урьдчилан тогтоосон хэмжээнээс их байвал өвчтөнд аюултай үр дагавар гарч болзошгүй [14].

Судалгаанд III шатлалын эмнэлэгүүдийн яаралтай тусламж, эрчимт эмчилгээний тасагт ашиглагдаж байгаа 5 өөр улсад үйлдвэрлэгдсэн дефибрилляторын аппаратуудыг хамруулсан. 50 Ом эсэргүүцэлтэй үед, 200 Ж, 100 Ж, 50 Ж энергийн түвшинд Fluke Impulse 4000 загварын зүрхний аппаратын анализатор ашиглаж гурван удаагийн давталттайгаар гаралтын гүйдэл, хүчдэл, энергийн утга, импульсийн утга зэргийг хэмжиж авсан.

Дефибрилляторын аппаратуудыг хүчдэл, гүйдлээс хамаарсан судалгааг гаргасан болно. Аппаратын үйлдвэрлэгчээс тогтоосон гаралтын утгын нарийвчлал нь  $\pm 5-10$  хувь байдаг бөгөөд судалгаанд хамрагдсан аппаратын дийлэнх нь энэхүү стандартыг хангаж байна.

50 Ом ачаалалтай, 50 Ж, 100 Ж, 200 Ж-ын үед Schiller, Zoll, HD-9000D болон Lifepack загварын 12 аппаратын дундаж гүйдлийн утга нь энергийн гурван түвшинд стандарт түвшинд байна. Харин Mindray загварын аппаратны гаралтын гүйдлийн дундаж утга нь статистикийн хувьд 10-15%-иар бага байсан.

#### V. НОМ ЗҮЙ

- [1]. Монгол улсын үндэсний статистикийн хороо., Монгол улсын статистикийн эмхтгэл., Улаанбаатар., 2021
- [2]. Эрүүл мэндийн хөгжлийн төв, ЭМЯ., Эрүүл мэндийн үзүүлэлт, Улаанбаатар, 2021;8:92-93.
- [3]. Trayanova N. (2005) “Defibrillation of the heart: insights into mechanisms from

- modelling studies”. *Experimental Physiology* 91(2):323-337.
- [4]. Gliner, B.E., et al. Transthoracic defibrillation of swine with monophasic and biphasic waveforms. *Circulation* 92:1634-1643, (1995).
- [5]. Tang, W., et al. The effects of biphasic waveform design on post-resuscitation myocardial function. *J American College of Cardiology* 43 (7): 1228-1235, (2004).
- [6]. Lerman, B., et al. Current-based versus energy-based ventricular defibrillation: a prospective study. *J American College of Cardiology* 12:1259-1264, (1988).
- [7]. Zelinka, M. et al., Comparison of five different defibrillators using recommended energy protocols. *Resuscitation* 3236, (2007).
- [8]. Achleitner, U., et al., Waveform analysis of biphasic external defibrillators. *Resuscitation* 50: 61-70, (2001).
- [9]. Wu, X., et al., Does the successful ventricular defibrillation decide by energy or charge? *International Journal of Bio electro magnetism*, 9(1): 41-42, (2007).
- [10]. A.J. Cook, G.D. Gargiulo, T. Lehmann, T.J. Hamilton, Open platform, eight-channel, portable bio-potential and activity data logger for wearable medical device development, *Electronics Letters*, vol. 51, 2015, pp. 1641-1643, <https://doi.org/10.1049/el.2015.2764>.
- [11]. J. Oster, J. Behar, R. Colloca, Q. Li, Q. Li, G.D. Clifford, “Open source Java-based ECG analysis software and Android app for Atrial Fibrillation screening,” *Computing in Cardiology, Zaragoza 2013* (2013) 731–734.
- [12]. A Comparison of Defibrillator waveform characteristics research November, 2015 DOI: 10.13140/RG.2.1.3480.5205
- [13]. A. Page, T. Soyata, J. P. Couderc and M. Aktas, “An Open Source ECG Clock Generator for Visualization of Long-Term Cardiac Monitoring Data,” in *IEEE Access*, vol.3,no.,pp2704–2714,2015.doi: 10.1109/ACCESS.2015.2509426
- [14]. R.L.Winslow, S.Granite, C.Jurado, “WaveformECG: A Platform for Visualizing, Annotating, and Analyzing ECG Data,” in *Computing in Science & Engineering*, vol. 18, no. 5, pp. 36–46, Sept.-Oct. 2016.

## ЦАХИЛГААН ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ ПАРАМЕТРУУДИЙН БОЛОВСРУУЛАЛТЫН АЛГОРИТМЫГ STM32F4-DISCOVERY АШИГЛАН ТУРШИЛТЫН АРГААР СУДЛАХ

Ж.Төгөлдөр<sup>1</sup>, Бя.Бат-Эрдэнэ<sup>2</sup>, Н.Жигжидсүрэн<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Цахилгаан Дамжуулах Үндэсний Сүлжээ ТӨХК, Улаанбаатар Салбар

<sup>2</sup>Монгол Улсын Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургууль, Эрчим Хүчний Сургууль  
[tuguldur2012@gmail.com](mailto:tuguldur2012@gmail.com)

*Хураангуй*–Орчин үеийн цахилгаан станц, дэд станцуудын реле хамгаалалт автоматикийн төхөөрөмжүүдийн элементийн баазад микропроцессорын элементийн баазад суурилсан хамгаалалтын төхөөрөмжийг сонгож суурилуулж байна. Микропроцессорын баазад суурилсан реле хамгаалалтын төхөөрөмжийг ашиглаж эхэлснээр эрчим хүчний гүйдэл, хүчдэлийн аналог сигналыг аналог тоон хувиргагч ашиглан хэмжин авч тоон шүүлтүүр болон сигнал боловсруулалтын алгоритм ашиглан тоон сигнал боловсруулалт хийх шаардлага гарч байна. Энэ шаардлагыг хангах зорилгоор тоон алгоритмуудыг судалж, практикт хэрэгжүүлж байна. Энэхүү судалгааны ажлаар эрчим хүчний үндсэн параметруудийг STM32F4 микроконтроллер ашиглан хэмжин авах болон үйлчлэх утгад Фурьегийн хурдан хувиргалтын (ФХХ) алгоритм ашиглан спектрийн анализ хийж, цонхны функцийг нөлөө алгоритмын ажиллагаанд хэрхэн нөлөөлж буйг туршилтын аргаар судална.

*Түлхүүр үг*–Хувьсах гүйдэл, үйлчлэх утга, гармоник, Фурьегийн хурдан хувиргалт (ФХХ), аналог тоон хувиргуур (АТХ), нам давтамжийн шүүлтүүр.

### I. УДИРТГАЛ

Техник технологи хурдацтай хөгжиж буй өнөө үед цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээ өсөн нэмэгдэхийн хэрээр хэрэглэгчийг тогтвортой, найдвартай эрчим хүчээр хангах асуудал нь эрчим хүчний салбарын ажилчдын гол зорилго болсон байна. Иймд эрчим хүчний үндсэн параметр болох гүйдэл, хүчдэл, давтамжийн утгуудыг үнэн зөв, хамгийн алдаа багатай аргаар хэмжин авч, системийн горимыг барих, реле хамгаалалт автоматикийн төхөөрөмжийн найдвартай ажиллагаа, сонгох чадварыг дээшлүүлэх шаардлага тулгарч байгаа юм.

Тоон технологи хөгжсөнөөр хуучны нарийвчлал багатай аналог хэмжих хэрэгслүүдийг орлох тоон төхөөрөмжүүд бий болсоор байна. Тоон төхөөрөмжийн хувьд аналог хэмжүүрийн төхөөрөмжтэй харьцуулахад хямд, илүү хурдан бөгөөд өндөр нарийвчлалтайгаар параметрийг хэмжих боломжийг олгодог.

Цахилгаан гүйдэл, хүчдэлийн үйлчлэх утгыг хэмжиж авах нь эрчим хүчний системд гарч буй үзэгдлүүдийг дүрслэх чухал хэмжээсийн нэг юм [1]. Хувьсах параметрийн үйлчлэх утгыг дараах (1) тэгшитгэлээр тодорхойлдог.

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt}, \quad (1)$$

үүнд:  $V_{rms}$  -  $v(t)$  оролтын утгын үйлчлэх утга,  $T$  – хэмжилт хийсэн хугацаа,  $v(t)$  – хугацаанаас хамаарсан оролтын утга.

Системийн параметрийн үйлчлэх утгыг зөвхөн горимын параметрийг хэмжиж авахад ашиглаж байгаа бөгөөд сигналын шилжилтийн процессын үе болон гажилт бий болох үед

үйлчлэх утгын хэмжээнд өөрчлөлт мэдэгдэхгүй учир энэ аргаар хэмжилт хийх нь зохимжгүй юм.

Хувьсах гүйдлийн параметрийн үйлчлэх утгыг тоон төхөөрөмжөөр хэмжин авч ашиглахад тодорхой шалтгаануудын улмаар хязгаарлалтууд тулгарах бөгөөд энэ асуудлыг [2]-д нарийн дурдсан байна.

Өсөн нэмэгдэх шугаман бус ачааллын нөлөөллөөс үүдэн сүлжээний гүйдэл, хүчдэлийн сигналд гармоник тодорхой хэмжээнд зайлшгүй агуулагддаг. Энэхүү нэмэлт гармоникүүд нь сигналын хэлбэр дүрс, сигналын үйлчлэгч утгын хэмжээнд нөлөө үзүүлдэг [2].

Технологийн үсрэнгүй хөгжлийг дагаад эрчим хүчний хэрэглэгчдийн шинж чанар ихээхэн өөрчлөгдөж, илүү нарийн төвөгтэй бүтэц, шинж чанартай болж байгаа бөгөөд реактив чадлын өндөр хэрэглээ, тэгш бус хэмт ачаалал, шугаман бус ачааллын нөлөөллөөс үүдэн системийн параметрт нэмэлт гармоникүүд бий болж, эрчим хүчний чанарт муугаар нөлөөлдөг байна [3]. Мөн параметрийн хэмжилтийн утгад мэдэгдэхүйц нөлөө үзүүлнэ.

Гармоник нь цахилгаан эрчим хүчний чанарыг тодорхойлох гол параметр болох бөгөөд гармоник, дэд гармоникүүдийн эрчим хүчний системд үзүүлэх нөлөөллийг судалсан хэд хэдэн судалгааны ажлууд байдаг [2, 4].

Тоон сигналын боловсруулалтын гармоник спектрийн тооцооллын алгоритмуудаас хамгийн өргөн хэрэглэгддэг нь Фурьегийн хурдан хувиргалтын алгоритм юм [5]. Орчин үеийн тоон хэмжих хэрэгсэл, реле хамгаалалтын төхөөрөмжүүдэд үндсэн давтамж (50 Гц) бүхий эрчим хүчний синуслэг параметрт агуулагдах

гармоникуудыг ялгаж, системийн горим, ажиллагаанд анализ хийх, хамгаалалтын найдвартай ажиллагааг дээшлүүлэх зорилгоор Фурьегийн хурдан хувиргалтын (ФХХ) алгоритмд суурилсан тоон алгоритмуудыг хөгжүүлэн, ашиглаж байна.

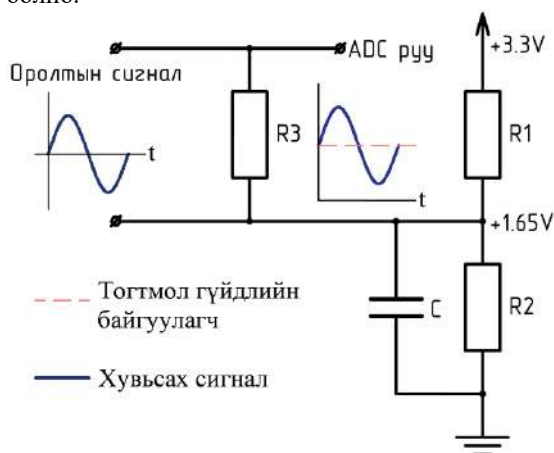
Тоон сигналыг боловсруулахад Фурьегийн хурдан хувиргалтыг шууд ашиглах нь учир дутагдалтай. Фурьегийн хувиргалт нь сэймпл хийгдэж эхлэх цэг нь синуслэг сигналын утга тэгээс эхэлж буй эгшин гэж тооцогддог. Гэвч практикт нэг хувиргалтаас дараагийн хувиргалтанд шилжих бүрд сигнал үечилсэн байдлаар сэймпл хийгдэх боломжгүй учир тус алгоритмд цонхны функц ашиглан сигналд агуулагдаагүй нэмэлт гармоник үүсэхээс сэргийлдэг [5].

Энэхүү судалгааны ажлаар эрчим хүчний үндсэн параметр болох гүйдлийн үйлчлэгч утгыг STM32F4 микроконтроллер ашиглан хэмжин авах болон үйлчлэх утгад ФХХ ашиглан үр ашигтайгаар спектрийн анализ хийж, цонхны функцийг нөлөө алгоритмын ажиллагаанд хэрхэн нөлөөлж буйг туршилтын аргаар судална.

## II. СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

Микропроцессорын аналог тоон хувиргуур (АТХ) нь 0-3.3В, мөн 0-5В хүртэл хязгаарлагдмал хүчдэлийн түвшин бүхий сигналыг хэмжин авч боловсруулалт хийдэг. АТХ ашиглан хувьсах гүйдлийн эерэг давалгааг хэмжин авч болох боловч сигналын утга сөрөг давалгаанд шилжихэд хэмжилт хийх боломжгүй тул хувьсах сигналыг АТХ ашиглан шууд хэмжин авах боломжгүй юм. Иймээс хувьсах сигналын утгыг бүрэн хэмжиж авахын тулд сигналын сөрөг давалгааг тогтмол хүчдэлийн байгуулагч нэмж, АТХ-н хэмжих хязгаарт оруулах шаардлага зайлшгүй тулгарч байгаа юм.

Дээрх шаардлагыг хангахын тулд 1-р зурагт үзүүлсэн суурь хүчдэл нэмэх хэлхээг ашиглаж болно.



1-р зураг. Суурь хүчдэл нэмэх хэлхээ

1-р зурагт үзүүлсэн хэлхээнд холбогдсон R1, R2 эсэргүүцэл бүхий хэлхээ нь хүчдэл хуваагуурын хэлхээ бөгөөд цуваа эсэргүүцлүүд

дээр хүчдэл хуваагдаж унах зарчим дээр үндэслэгдэн ажилладаг [6]. R2 эсэргүүцэл дээр унах хүчдэл нь суурь хүчдэл болон ашиглагдаж байгаа бөгөөд тус эсэргүүцэл дээр унах хүчдэлийн хэмжээг (2) томъёогоор тооцно.

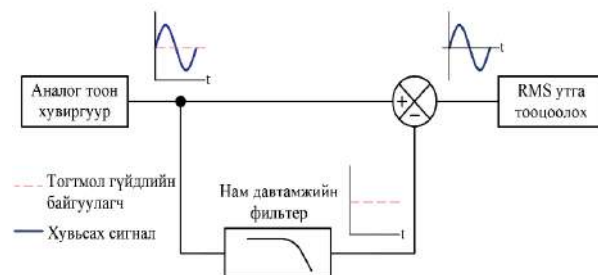
$$V_{OUT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{in}, \quad (2)$$

Оролтын хувьсах сигналын утга бүрийг тогтмол хүчдэлийн утгаар нэмэгдүүлж, сигналыг тэг цэгийг R2 эсэргүүцэл дээр унах хүчдэлийн түвшин хүртэл зөөнө. Ингэснээр оролтын сигналыг АТХ ашиглан хэмжих боломжтой болж байгаа юм.

STM32F4 микроконтроллерийн АТХ төхөөрөмжийн хэмжих хүчдэлийн хязгаар нь 0 – 3.3В байдаг [7]. АТХ-н хязгаарт хэмжилт хийхийн тулд хувьсах сигналыг АТХ-н хүчдэлийн хязгаарт оруулж ирэх шаардлагатай ба сигналын 0 цэгийг 1.65В-н орчимд авчрах шаардлагатай.

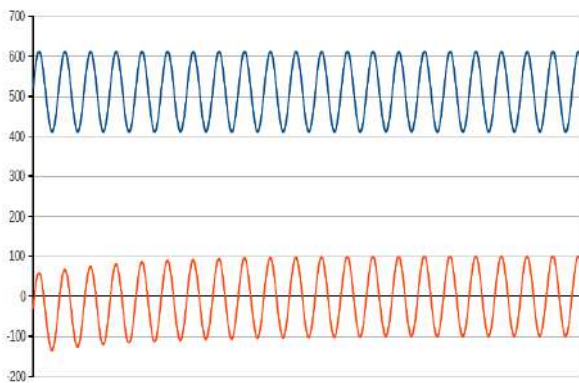
Микроконтроллер ашиглан хувьсах сигналыг хэмжиж авсны дараа хэмжилтийн утгаас тогтмол сигналын байгууламжийг программын аргаар шүүн авч, тоон боловсруулалтыг хийнэ.

3-р зурагт АТХ-н оролтын сигналаас тогтмол гүйдлийн байгуулагчийг арилгах алгоритмын блок диаграммыг үзүүлсэн байна. Зурагт үзүүлсэн алгоритмын блок диаграмд оролтын сигналд нам давтамжийн шүүлтүүр ашиглан тогтмол гүйдлийн байгуулагчийг нь шүүн авч, шүүж авсан байгуулагчийг оролтын сигналаас хасах замаар сигналыг анхны хувилбарыг эргүүлэн гарган авах ба алгоритмын гаралтын сигналын утгаар үйлчлэгч утгыг нь үнэн зөв тодорхойлох боломжтой болно.



2-р зураг. Оролтын сигналын тогтмол гүйдлийн байгуулагчийг арилгах алгоритмын блок диаграм

3-р зурагт тогтмол гүйдлийн байгууламж нэмсэн сигналын хэлбэр (цэнхэр өнгөөр) болон түүнд тоон нам давтамжийн шүүлтүүр ашиглан тогтмол гүйдлийн байгууламжийг шүүн авсан үеийн сигналын хэлбэрийг (улбар шар өнгөөр) харуулсан байна.



3-р зураг. Оролтын сигнал болон тус сигналд тоон шүүлтүүр ашиглан тогтмол гүйдлийн байгууламжийг шүүсний дараах гаралтын сигнал

АТХ ашиглан хэмжиж авсан сигнал нь тодорхой  $T$  хугацааны давтамжтайгаар сэймпл хийгдэж, хэмжиж авсан сигнал нь 4-р зурагт үзүүлсэнтэй ижил тасралттай хугацааны сигнал болж хувирах тул (1)-р тэгшитгэлийг ашиглан сигналын үйлчлэгч утгыг тооцох боломжгүй болно. Иймээс (1)-р тэгшитгэлийг дискрет үйлчлэх утга бодох (3)-р тэгшитгэлд хөрвүүлэх шаардлагатай болно.

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} u^2(n)}, \quad (3)$$

үүнд:  $V_{rms}$  -  $u(n)$  оролтын утгын үйлчлэх утга,  $N$  – нийт сэймплийн тоо,  $u(n)$  –  $n$  дэх сэймплийн утга.



4-р зураг. Сэймпл хийгдсэн сигнал

Практикт ашиглаж байгаа АТХ-н хэмжилтийн утга нь оролтын утгатайгаа шугаман бус хамааралтай. Иймээс АТХ-н алдаанаас үүдэн үйлчлэгч утгын тооцоонд алдаа гарч болно [8]. Мөн хэмжиж авч буй сүлжээний гүйдэл, хүчдэлийн сигналд ямагт гармоник агуулагдах бөгөөд энэ нэмэлт гармоник нь үйлчлэх утгын хэмжээнд өөрчлөлт оруулж болно [2].

Үйлчлэх утгын хэмжилтийн алдааг багасгах, сигналд агуулагдах гармоникийг ялгаж, анализ хийхийн тулд сигналд спектрийн анализ хийнэ. Спектрийн анализ хийхэд хамгийн өргөн ашигладаг алгоритм бол Фурьегийн хурдан хувиргалт юм [5]. Фурьегийн хувиргалтын үр дүнд хугацааны мужид орших оролтын сигналыг давтамжийн мужид шилжүүлэн тухайн оролтын сигналд агуулагдах өөр давтамж бүхий синуслэг сигналуудыг тодорхойлох боломжтой. Хугацааны хувьд тасралтгүй сигналын хувьд ашиглагдах ФХХ-н математик загвар нь (4) томъёо юм.

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt, \quad (4)$$

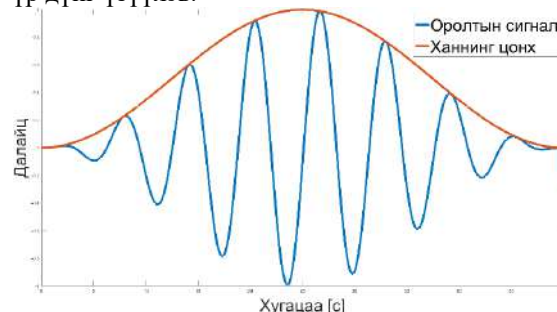
үүнд:  $x(t)$  – хугацааны муж дахь сигналын хэмжээ,  $X(f)$  – давтамжийн мужид хөрвүүлсэн сигналын хэмжээ,  $f$  – давтамжийн утга,  $t$  – хугацаа

Микропроцессорын төхөөрөмж нь хугацааны хувьд тасралттай хэмжилт хийх тул (4)-р тэгшитгэлийг дискрет Фурьегийн хувиргалтын математик хэлбэр буюу (5)-р тэгшитгэлд хөрвүүлж, дискрет сигналын хувьд алгоритмыг ашиглах боломжийг бүрдүүлэх шаардлагатай [9].

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-\frac{j2\pi kn}{N}}, \quad (5)$$

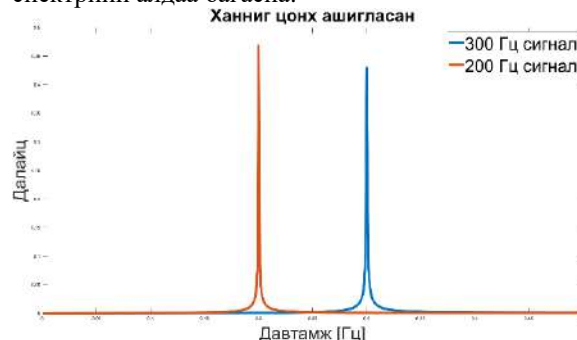
үүнд:  $x_n$  – оролтын сигналын  $n$  дэхь сэймпл,  $X_k$  – давтамжийн мужийн  $K$  дугаар гармоникийн хэмжээ,  $n$  – сэймплийн дугаар,  $N$  – нийт сэймплийн тоо,  $k$  – гармоникийн дугаар.

Дискрет ФХХ ашиглахын тулд хязгаарлагдмал тооны утгуудыг ашиглах бөгөөд эхний хэмжилт нь дараагийн хэмжилттэй хугацааны хувьд үргэлжилсэн биш байдлаас үүдэн спектрийн гажилт бий болж, сигналд агуулагдаагүй нэмэлт гармоникүүд бий болж хэмжилтийн алдааг ихэсгэж болох юм. Иймд хэмжилтийн алдааг багасгахын тулд оролтын сигналд цонхны функцээр үржүүлдэг. 4-р зурагт синуслэг сигналыг Ханнинг цонхоор үржүүлсэн үр дүнг үзүүлэв.



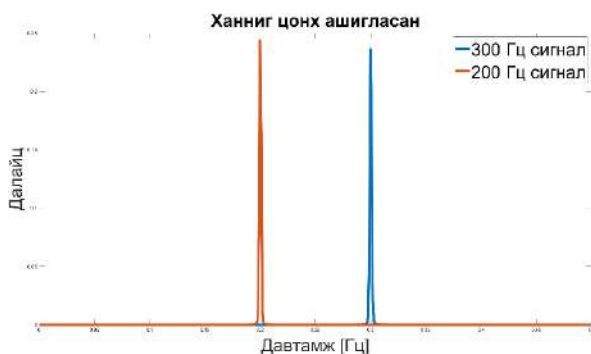
5-р зураг. Хувьсах сигналыг Ханнинг цонхоор үржүүлсэн үр дүн

5-р зурагт үзүүлсэн хувьсах сигналыг цонхны функцээр үржүүлснээр хувьсах сигналыг хугацааны аль ч эгшинд хэмжиж авахаас үл хамааран сигналын хэлбэр нэг хэвийн болох ба сигналын эхлэл төгсгөлийг тэгтэй дөхүүлснээр спектрийн алдаа багасна.



6-р зураг. 200 Гц болон 300 Гц давтамжтай сигналд ФХХ хийсэн байдал (цонхны функц ашиглаагүй)





7-р зураг. 200 Гц болон 300 Гц давтамжтай сигналд ФХХ хийсэн байдал (Ханнинг цонх ашигласан)

6 болон 7-р зурагт 200 Гц болон 300 Гц давтамжтай сигналд ФХХ ашиглан үр дүнг хэвлэсэн байна. 6 болон 7-р зургийг харьцуулахад цонхны функцийг нөлөө давтамжийн спектрийн нарийвчлалд мэдэгдэхүйц нөлөө үзүүлж байгаа нь харагдаж байна.

### III. ТУРШИЛТ ХИЙСЭН БАЙДАЛ

#### A. Үйлчлэгч утгын хэмжилт

Микроконтроллер ашиглан хувьсах гүйдэл хэмжиж авах туршилт хийхийн тулд SVERKER 750 маркийн реле хамгаалалтын төхөөрөмж турших төхөөрөмжийг хувьсах гүйдлийн үүсгэгч болгон ашиглан, UNIT-203 маркийн мультметр болон SCT-103 гүйдлийн трансформатор ашигласан STM32F407-Discovery ашигласан гүйдлийн хэмжих төхөөрөмжийн хэмжилтийн утгатай харьцуулалт хийсэн туршилтын явцыг 8-р зурагт үзүүдэв.



8-р зураг. Хувьсах гүйдлийн үйлчлэх утга хэмжиж авах туршилтын зураг

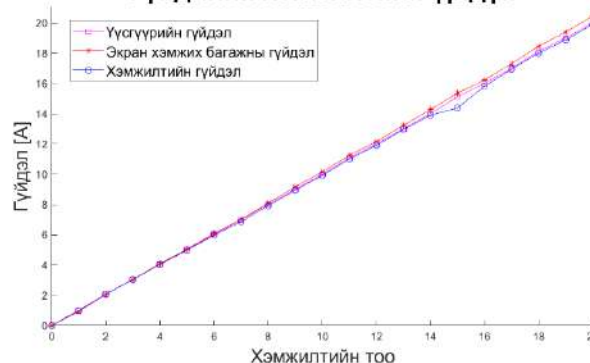
Хэмжилтийг 1А - 20А гүйдэл хүртэл өсгөн, 1А гүйдлийн алхамтайгаар хийсэн [11].

Хэмжилтийн үр дүнг 1-р хүснэгтэнд, хэмжилтийн үр дүнг харьцуулсан графикийг 9-р зурагт үзүүлэв.

#### 1-Р ХҮСНЭГТ. ХЭМЖИЛТИЙН ҮР ДҮН

№	Оролтын гүйдэл /А/	Амперк-лещийн гүйдэл /А/	Хэмжил-тийн утга /А/	Харьцангуй алдаа /%/
1	1	0.93	0.984	1.6
2	2.08	2.06	2.074	0.2885
3	3.06	3.05	3.034	0.85
4	4.06	4.08	4.04	0.49
5	5.03	5.05	4.98	0.994
6	6.01	6.08	5.96	0.832
7	7	7.01	6.87	1.857
8	8	8.09	7.92	1
9	9	9.16	8.94	0.667
10	10	10.15	9.92	0.8
11	11.09	11.25	11	0.812
12	12	12.15	11.9	0.833
13	13	13.22	12.95	0.385
14	14	14.27	13.9	0.714
15	15.11	15.35	14.38	4.831
16	16	16.23	15.81	1.188
17	17	17.3	16.94	0.353
18	18.12	18.45	18	0.662
19	19	19.4	18.87	0.684
20	20	20.44	19.9	0.5

#### Гүйдлийн хэмжилтийн үр дүн



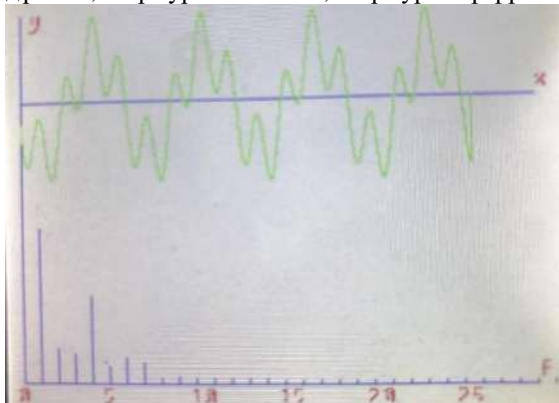
9-р зураг. Хувьсах гүйдлийн үйлчлэгч утгын хэмжилтийн үр дүн

Хэмжүүрийн трансформаторт реле хамгаалалтын найдвартай ажиллах шаардлагыг хангахын тулд гүйдлийн хувиргалтын алдаа нь 10 хувиас ихгүй байх шаардлагыг тавьдаг [12]. 1-р хүснэгтэд үзүүлснээр хэмжилтийн утгуудын харьцангуй алдаа нь хамгийн ихдээ таван хувиас хэтрэхгүй байгаа тул хэмжүүрийн төхөөрөмжийг реле хамгаалалтын төхөөрөмжийн хэмжих хэсэг болгон ашиглах боломжтой гэдэг нь харагдаж байна.

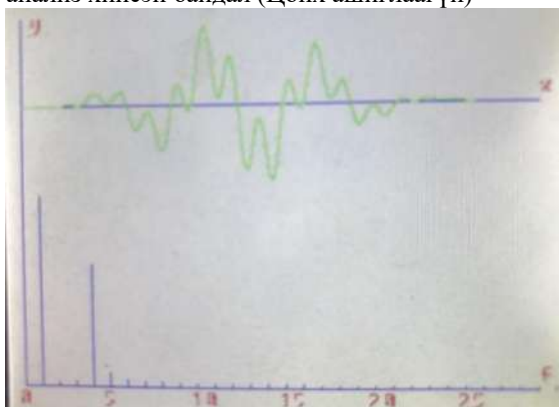
#### B. Фурьегийн хурдан хувиргалт хийсэн туршилт

Микроконтроллерийн төхөөрөмж ашиглан ФХХ алгоритм ашиглан хэмжилт хийх туршилтад STM32F407 Discovery сургалтын хавтан ашиглан, arm math [13] тоон сигнал боловсруулалтад зориулсан функцийг санг ашиглан, хувьсах сигналд ФХХ хийж, гарсан үр дүнг нь 3.2 инчийн LCD дэлгэцэн дээр хэвлэсэн байдлыг 10, 11-р зураг болон 14, 15-р зурагт үзүүлэв.

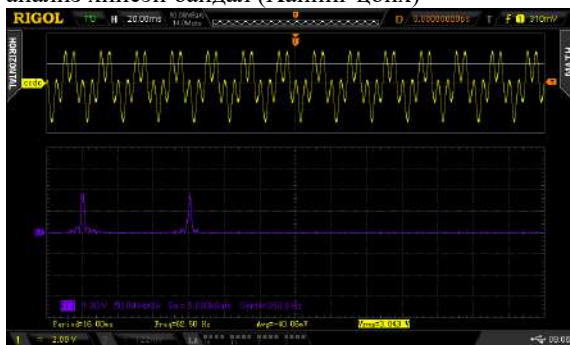
Хэмжилтийг 50 Гц, 200 Гц болон 50 Гц, 500 Гц давтамжтай сигналуудын нийлбэр сигналыг жишээ болгон авсан бөгөөд цонхны функц ашигласан болон ашиглаагүй үеийн давтамжийн мужийн утгуудыг харьцуулж, RIGOL маркийн осциллограф ашиглан ижил хэмжилт хийж үр дүнг 12, 13-р зураг болон 16, 17-р зурагт үзүүлэв.



10-р зураг. STM32F407 сургалтын хавтан дээр 50 Гц болон 200 Гц давтамж бүхий сигналуудын нийлбэр сигналыг ФХХ ашиглаж спектрийн анализ хийсэн байдал (Цонх ашиглаагүй)



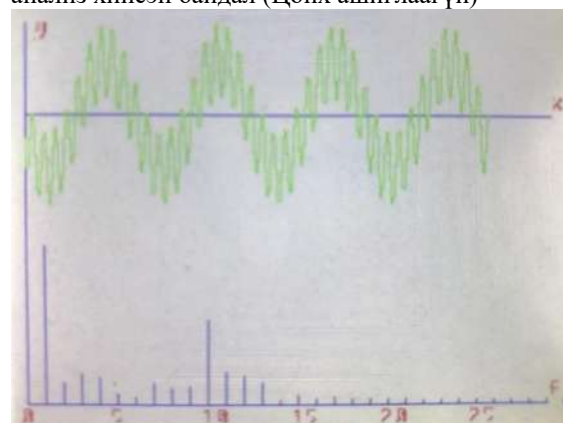
11-р зураг. STM32F407 сургалтын хавтан дээр 50 Гц болон 200 Гц давтамж бүхий сигналуудын нийлбэр сигналыг ФХХ ашиглаж спектрийн анализ хийсэн байдал (Ханниг цонх)



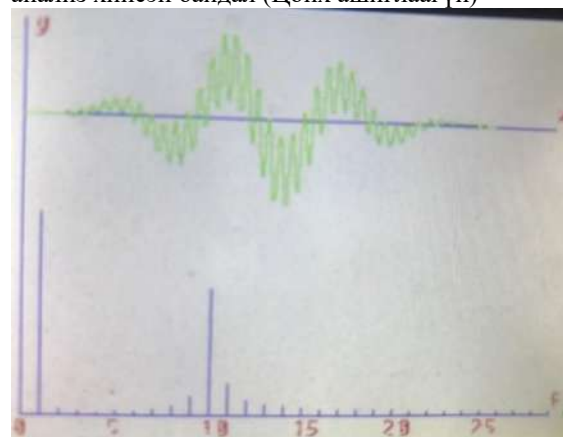
12-р зураг. RIGOL осциллограф ашиглан 50 Гц болон 200 Гц давтамж бүхий сигналуудын нийлбэр сигналыг ФХХ ашиглаж спектрийн анализ хийсэн байдал (Цонх ашиглаагүй)



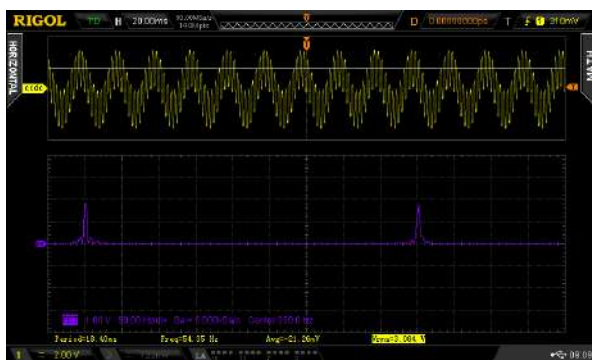
13-р зураг. RIGOL осциллограф ашиглан 50 Гц болон 200 Гц давтамж бүхий сигналуудын нийлбэр сигналыг ФХХ ашиглаж спектрийн анализ хийсэн байдал (Цонх ашиглаагүй)



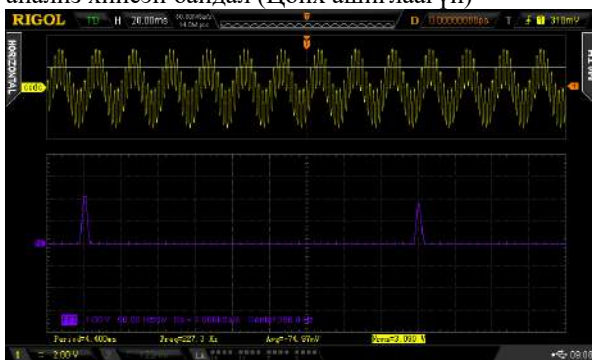
14-р зураг. STM32F407 сургалтын хавтан дээр 50 Гц болон 200 Гц давтамж бүхий сигналуудын нийлбэр сигналыг ФХХ ашиглаж спектрийн анализ хийсэн байдал (Цонх ашиглаагүй)



15-р зураг. STM32F407 сургалтын хавтан дээр 50 Гц болон 200 Гц давтамж бүхий сигналуудын нийлбэр сигналыг ФХХ ашиглаж спектрийн анализ хийсэн байдал (Ханнинг цонх)



16-р зураг. RIGOL осциллограф ашиглан 50 Гц болон 500 Гц давтамж бүхий сигналуудын нийлбэр сигналыг ФХХ ашиглаж спектрийн анализ хийсэн байдал (Цонх ашиглаагүй)



16-р зураг. RIGOL осциллограф ашиглан 50 Гц болон 500 Гц давтамж бүхий сигналуудын нийлбэр сигналыг ФХХ ашиглаж спектрийн анализ хийсэн байдал (Ханнинг цонх ашигласан)

#### IV. ДҮГНЭЛТ

Эрчим хүчний систем дэх цахилгаан станц, дэд станцуудад микропроцессорын элементийн баазад суурилсан реле хамгаалалтын төхөөрөмжийн хэрэглээ өсөн нэмэгдэж байгаа өнөө үед сүлжээний параметрийн хэмжилтийн алгоритм болон тоон сигналын боловсруулалтын алгоритмуудын хэрэглээ түүнийг дагаад өсөн нэмэгдэж байна. Реле хамгаалалтын төхөөрөмжийн найдвартай ажиллагаа, параметрийн хэмжилтийн нарийвчлалыг дээшлүүлэхэд тоон сигналыг боловсруулалтын алгоритмуудыг судлах, оновчлолын түвшинг дээшлүүлэх зэрэг чухал шаардлагууд тулгарсаар байна. Микроконтроллерийн төхөөрөмж ашиглан аналог сигналыг хэмжин авч, үйлчлэх утгыг тооцоолох, спектрийн анализ хийх аргачлалыг судалснаар практикт реле хамгаалалт, хэмжүүрийн төхөөрөмж хийж, хэрэгжүүлэх боломжийг бий болгох юм.

Энэхүү судалгааны ажлаар STM32F407 сургалтын хавтан ашиглан эрчим хүчний параметрийн үйлчлэгч утгыг тооцоолох, Фурьегийн хурдан хувиргалт ашиглан спектрийн анализыг практикт хэрэгжүүлсэн үр дүнг харуулж, экран төхөөрөмжтэй харьцуулан хэмжилт хийсэн.

А. Үйлчлэгч утгын хэмжилт

Микроконтроллер ашиглан хувьсах гүйдэл хэмжиж авах туршилт хийхийн тулд SVERKER 750 маркийн реле хамгаалалтын төхөөрөмж турших төхөөрөмжийг гүйдлийн үүсгэгч болгон ашиглаж хэмжилтийн утгыг UNIT-203 мультиметртэй харьцуулалт хийж, график байгуулсан.

Гүйдлийн хэмжилтийн утгуудыг харьцуулан үзэхэд хэмжилтийн утгын экран багажийн хэмжилтийн утгатай харьцуулсан харьцангуй алдаа нь 5 хувиас хэтрэхгүй байгаа бөгөөд реле хамгаалалтын төхөөрөмжид 10 хувь хүртэл хэмжилтийн алдаа бүхий төхөөрөмж ашиглахыг зөвшөөрдөг [12] тул сигнал боловсруулалтын алгоритмыг ашиглан хувьсах гүйдлийн үйлчлэгч утгыг үнэн зөв хэмжих боломжтой нь харагдаж байна.

Б. Фурьегийн хурдан хувиргалт хийсэн туршилт

Микроконтроллерийн төхөөрөмж ашиглан хэмжилт хийсэн сигналд ФХХ хэрэгжүүлэх туршилтыг STM32F4 микроконтроллер ашиглан гүйцэтгэж, RIGOL осциллограф ашиглан харьцуулалт хийсэн үр дүнг зургаар үзүүлэв. Хэмжилтийн үр дүнгээс үзэхэд RIGOL багажийн хэмжилт нь микроконтроллерийн хийсэн хэмжилттэй ойролцоо байгаа нь харагдаж байгаа бөгөөд практикт микроконтроллер ашиглан хувьсах гүйдэлд спектрийн анализ хийж, ашиглах боломжтой гэдэг нь харагдаж байна.

#### V. АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] E. Styvaktakis, M.H.J. Bollen, I.Y.H. Gu, "Automatic classification of power system events using rms voltage measurements," in Proc. Power Eng. Soc. Summer Meeting, 2002, vol. 2, pp. 824–829.
- [2] J. Barros, E. Pérez. "Limitations in the Use of R.M.S. Value in Power Quality Analysis", Instrumentation and Measurement Technology Conference, April, 2006
- [3] F. Vatansever, A. Ozdemir, "A new approach for measuring RMS value and phase angle of fundamental harmonic based on Wavelet Packet Transform", Electr. Power Syst. Res. 78 (2008) 74–79.
- [4] J.S Subjak, jr, J.S. McQuilkin, "Harmonics - Causes, Effects, Measurements and Analysis: An Update", IEEE Transaction on industry application. VOL.26. NO.6, November, 1990
- [5] GW Chang, CI Chen, YJ Liu, MC Wu. "Measuring power system harmonics and interharmonics by an improved fast Fourier transform-based algorithm", IET Gener. Transm. Distrib. J. 2 (2008) 193–201.
- [6] R.W. Fransiska, E.M.P. Septia, W.K. Vessabhu, W. Frans, W. Abednego, "Electrical Power Measurement Using Arduino Uno

- Microcontroller and LabVIEW”, ICICI-BME, Bandung, Nov. 2013.
- [7] “STM32F4 RM0090 microcontroller reference manual”, Feb,2021
- [8] Andrey N. Serov, Nikolay A. Serov, Petr K. Makarychev.“Evaluation of the Effect of Nonlinearity of the Successive Approximation ADC to the Measurement Error of RMS,” International Symposium on Industrial Electronics, pp. 1–6, 2018.
- [9] G. D. Bergland, “A guided tour of the Fast Fourier Transform”, Bell Telephone Laboratories, Inc. 1969.
- [10] F. S. Zhang, Z. X. Geng, and W. Yuan, “The algorithm of interpolating windowed FFT for harmonic analysis of power system,” IEEE Trans. Power Del., vol. 16, no. 2, pp. 160–164, Apr. 2001.
- [11] “Хувьсах гүйдлийн RMS утга хэмжилт” - <https://youtu.be/teJWgIIzXpQ>
- [12] Kuzhekov, S. L., and A. A. Degtyarev. "On the coordination of current transformers and relay protection and automation operation of electric-power systems in transient short-circuit states." Russian Electrical Engineering 88, no. 12 (2017): 832-838.
- [13] “ARM Math CMSIS DSP Library function references” [https://www.keil.com/pack/doc/cmsis/DSP/html/arm\\_\\_math\\_8h.html](https://www.keil.com/pack/doc/cmsis/DSP/html/arm__math_8h.html)

## БАРИЛГЫГ НЭМЖ ДУЛААЛСНААР БИЙ БОЛОХ ҮР ӨГӨӨЖИЙГ БҮРЭН ХҮРТЭХ АРГА ЗАМЫН СУДАЛГАА

Н. Золжаргал<sup>1</sup>, Б.Намхайням<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Дулааны инженерийн салбар

*Хураангуй*–Манай улсад 1970-1990 онд баригдсан угсармал орон сууцны барилгууд дулааны алдагдал ихтэй, олон улсын байгуулагуудын судалгаагаар одоо мөрдөж буй стандартын утгатай харьцуулахад 2.3...2.5 дахин их байна гэж тогтоосон. Хэрэв эдгээр барилгуудыг стандартын утганд хүртэл нэмж дулаалвал том хотуудын дулаан хангамжийн системүүдийн дулааны эх үүсгүүр болон дулааны сүлжээний чадлын чадлын нөөцийг ихээхэн нэмэгдүүлж шинээр олон барилгуудыг төвлөрсөн дулаан хангамжийн системд холбох боломж бий болно. Энэхүү өгүүлэлд хамгийн түгээмэл байдаг 9 давхар угсармал нэг орон сууцыг нэмж дулаалахад ямар үр ашиг бий болох, түүнийг бүрэн хүртэхэд ясар арга хэмжээ авах талаар хийсэн дулааны үр дүнг авч үзсэн болно.

*Түлхүүр үг*–дулаан, эсэргүүцэл, коэффициент, хаших хийц, хэмнэлт.

### I. УДИРТГАЛ

Манай улсын хот суурин газрууд, ялангуяа нийслэл хотод 1970-1990 онд баригдсан ихэнх орон сууцны барилгууд угсармал төмөр бетон хийцтэй байдаг. Эдгээр барилгууд дулааны хэрэглээ маш ихтэй учраас тэдгээрийг дулаацуулахын тулд нүүрс их хэрэглэнэ, тэр хэмжээгээр зардал ихсэнэ, орчны агаар их бохирдож байна. 1990 оноос өмнө баригдсан барилгын дулааны алдагдал шинэ стандартад заасан утгаас 60 орчим хувь өндөр байгааг судалгаагаар тогтоосон байдаг.

Уур амьсгалын өөрчлөлтийг сааруулах, өөрөөр хэлбэл ХХЯ-ыг бууруулах асуудал өнөөдөр хүн төрөлхтний өмнө хурцаар тавигдаж байгаа ба үүнд эрчим хүч хэмнэх явдал маш чухал үүрэг гүйцэтгэх болно. Хуучин барилгуудын дулааны алдагдыг бууруулах явдал бол эрчим хүч хэмнэх нэг арга бөгөөд энэ талаар улс орнууд олон тооны төсөл арга хэмжээ хэрэгжүүлж байгаа ба манай улсад ч мөн цөөнгүй ажлууд хийгдэж байна.

Улаанбаатар хотод 470 гаруй угсармал орон сууцны барилга байдаг ба тэдгээрийг дулаалах талаар төр, засгийн удирдлагууд ихээхэн анхаарч төсвийн зардлаар сүүлийн 2020-2021 онд 50 гаруй орон сууцны барилгын ханыг нэмж дулаалсан байна.

Миний бие угсармал орон сууцны барилгыг стандартын түвшинд хүртэл дулаалснаар хичнээн эрчим хүч хэмнэх боломж байгааг тооцох, тэрхүү боломжийг бүрэн хүртэх ямар арга зам байгааг судлав.

Орон сууцны барилгыг дулаалах хоёр арга байна гэж үзэж тус бүрийн хувьд тооцоо хийсэн болно. Барилгын хаших хийцийн дулаан дамжуулалтын эсэргүүцэл, одоо мөрдөж буй БНБД 23-02-09 стандартын шаардлага ёсоор хана-4.0 м<sup>2</sup>.C/Вт хучилтын хавтан 5.94 м<sup>2</sup>.C/Вт, шал-5.27 м<sup>2</sup>.C/Вт, цонх-0.49 м<sup>2</sup>.C/Вт байх ёстой.

**Тооцооны аргачлал.** Барилгын гадна хана, цонх, дээвэр ба зоорины шалаар алдах дулааны тоо хэмжээг доорх томъёогоор тооцно.

### II. БАРИЛГЫН ХАШИХ ХИЙЦИЙН ХАНААР ДАМЖИХ ДУЛААНЫ АЛДАГДАЛ

$$Q_{loss} = \sum U_i \cdot F_i \cdot (t_{dot.D} - t_{рад.D}) \quad (1)$$

энд:  $t_{dot.D}$  ба  $t_{рад.D}$  барилгын дотор ба гадна агаарын тооцоот температур,

Хаших хийц бүрийн дулаан дамжуулалтын коэффициент

$$U_i = \frac{1}{R_i} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{ins}} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{out}}} \quad (2)$$

энд:  $R_i$ - хана, цонх, дээвэр, ба зоорийн шалны дулааны эсэргүүцэл, м<sup>2</sup>.°C/Вт.

Аргачлал ёсоор, дулааны алдагдлын тооцоонд барилгын хаших хийцийн дулааны алдагдалд үзүүлэх нөлөөллүүдийг, мөн агаарын урсгал ба цонхоор гаднаас орох дулаан, мөн доторх дулаан ялгаралтыг тусгах нь чухал.

### III. БАРИЛГЫН АГААРЖУУЛАЛТААР АЛДАХ ДУЛААН

$$Q_{ven} = V_{ins} \cdot n \cdot c_v \cdot (t_{out} - t_{ins}) \quad (3)$$

энд:  $V_{ins}$ - барилгын дотор эзлэхүүн;  $n$  – агаар сэлгэлтийн тоо;  $c_v$  – агаарын хувийн дулаан багтаамж;

Барилгыг хоёр түвшинд нэмж дулаалах асуудлыг авч үзэв.

*Нэгдүгээр хувилбар.* Зөвхөн ханыг дулаалах. Өнөөдөр хувь хүмүүс болон орон нутгийн

байгууллага энэ хувилбараар нэмж дулаалж байна.

*Хоёрдугаар хувилбар.* Барилгыг иж бүрэн, өөрөөр хэлбэл зоорийн шал, хана, цонх болон хучилтын хавтанг цогц байдлаар дулаалах.

Судалгааг хоёр орцтой 9 давхар угсармал орон сууцны барилгын хувьд хийв. Дулаалаагүй барилгын хаших хийц бүрийн дамжуулалтын эсэргүүцэлийг тооцохын тулд уг барилгын хана, цонх, хучилтын хавтан ба шалны материалын төрөл ба зузааныг судлав.

Хана-30 см зузаан төмөр бетон хавтан болон 10 см зузаан керамзит дулаалгатай ( $\lambda=0.45\text{W/mK}$ ), дэвэр- 15 см зузаан цементэн хавтан болон 30 см дулаалгатай, шал-10 см зузаан цементэн үетэй. Дулаалаагүй барилгын хаших хийцийн дулаан дамжуулалтын эсэргүүцлийг тооцож хүснэгтэд үзүүлэв.

Хүснэгт 1. Дулаалаагүй барилгын гадна хана, хучилтын хавтан, цонх ба зоорийн шалны дулаан дамжуулалтын эсэргүүцэл

	Хана,	Цонх,	Хучилт,	Шал,
Дулаалаагүй байх үеийн				
Стандартын утга				

*Хоёр орцтой 9 давхар орон сууцны барилгын геометр хэмжээс:* урт - 46.2 м; өргөн-12.8 м; өндөр-27.2 м. Дулаалах ханын гадаргуугийн талбай- 2885 м<sup>2</sup>; цонхны нийт талбай -360.8 м<sup>2</sup>; Дэвэр ба шалны талбай-636.5 м<sup>2</sup>

Хүснэгт 2. Орон сууцны барилгын дулааны хэрэглээ ба хэмнэлт

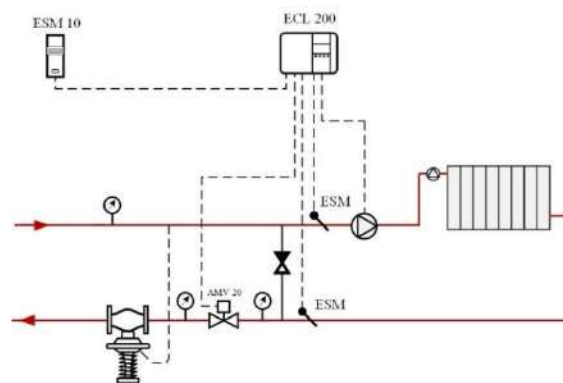
	Халаалтын улиралын дулааны хэрэглээ, МВтц	Хэмнэлт, хувь
Дулаалаагүй	1975.0	0.0
Иж бүрэн дулаалах	986.0	54.0
Зөвхөн ханыг дулаалах	1400.0	30.0

Нэмж дулаалсан, дулааны тоолууртай 16 гаруй орон сууцны барилгын дулааны жилийн хэрэглээг үндэслэн эрчим хүчний хэмнэлтийг тогтоов.

Хүснэгтэд үзүүлсэн тоон утгыг **боломж** гэж ойлгох. Тэрхүү боломжийг бүрэн хүртэхийн тулд дараах нөхцлийг бүрдүүлэх шаардлагатай.

Барилга бүрийн халаалтын систем нь дулааны тоолуур ба барилгын дотор агаарын температурыг тохируулах автомат хэрэгсэл бүхий холих зангилаатай mixing loop байх.

Халаалтын системийн удирдлага-тооцооллын зарчмын схемийг зургаар үзүүлэв.

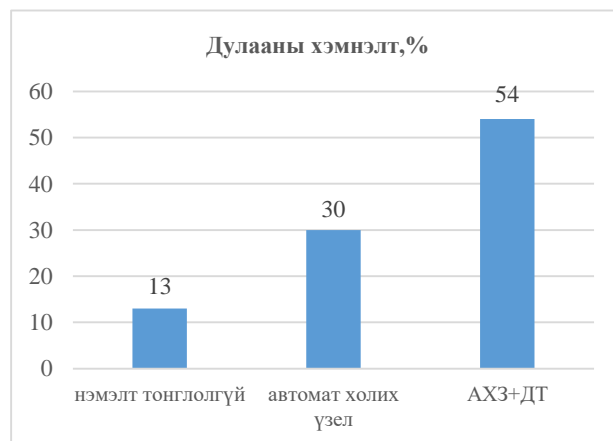


1-р зураг. Автомат удирдлагатай холих зангилааны схем

#### IV. АВТОМАТ УДИРДЛАГАТАЙ ХОЛИХ ЗАНГИЛАА

Дулаалсаны дараа барилгын дулааны алдагдал бага болох ба халаалтын систем хуучин горимоор ажиллах тохиолдолд дотор агаарын температур нэмэгдэж тэр үед оршин суугч дулааны төлбөрийг бодит хэрэглээгээр бус, тогтмол тарифаар төлдөг учраас илүү ирж буй дулаанаа цонхоо онгойлгож гадагш гаргана. Ийм байдлаар ажиллах бол дулаалсны үр өгөөж маш бага байх болно.

Харин автомат удирдлагатай холих зангилаа суурилуулж ашигласан тохиолдолд Дулааны хэмнэлт 30 хувиас хэтрэхгүй байх болно.



2-р зураг. Дулааны хэмнэлт ба халаалтын системийн автомат ажилгаа хорондын хамаарал

**Дулааны тоолуур.** Дулаалсны дараа барилгын халаалтын дулааны хэрэглээ ба хэмнэлтийг бодитой тогтоож өгнө. Дулаан хэмнэх талаар хэрэгжүүлсэн арга хэмжээ бүрийн үр дүнг тогтоож өгөх ач холбогдолтой. Хуучин угсармал нийтийн орон сууцуудын хувьд халаалтын дулааныг айл бүрд нэг шугамаар биш, 3-4 өөр шугамаар өгдөг учраас айл бүрд дулааны тоолуур ашиглах боломж бага байдаг.

## **V. ДҮГНЭЛТ**

Дулаалсан барилгын халаалтын үзелийг шинэчилээгүй тохиолдолд дулаан хэмнэлт 10 орчим хувь, автомат удирдлагатай холих үзел ажиллуулах тохиолдол 30 орчим хувь, АУХҮ ба тоолуур сууоилуулж ашигласан тохиолдол хэмнэх боломжийг 100 хувь (54%) хүртэх болно.

## **VI. НОМ ЗҮЙ**

- [1]. Намхайням. Б. Дулаан хангамжийн шинжлэх ухаан, технологи, байгаль орчны асуудлууд, “Манай эрдэмтэд” эрдэм шинжилгээний бүтээлийн цуврал ном, №41, Улаанбаатар, 2009 он.
- [2]. Намхайням Б, Цолмон.Н. Хүрээлэх орчин, эрчим хүч, технологи- сурах бичиг, Соёмбопритинг хэвлэлийн газар. 2014 он, 310 хуудас.
- [3]. БНБД 01-20-25. Барилгын дулаан хамгаалалт, Улаанбаатар, 2020

## ДАМЖУУЛАХ СҮЛЖЭЭНИЙ УЛААНБААТАР БҮСИЙН ШУГАМ, ТОНОГЛОЛЫН РЕЛЕ ХАМГААЛАЛТ АВТОМАТИКИЙН СУДАЛГАА

Н.Ичинхорлоо<sup>1,2</sup>, Б.Тогтохжаргал<sup>1,2</sup>, М.Баттулга<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Цахилгааны инженерийн салбар

<sup>2</sup>Монгол улс, Улаанбаатар, ЦДҮС ТӨХК-ийн Улаанбаатар салбар

[Ichko\\_bpisd@yahoo.com](mailto:Ichko_bpisd@yahoo.com), [battulga@must.edu.mn](mailto:battulga@must.edu.mn)

**Хураангуй**–Дамжуулах сүлжээний Улаанбаатар бүсийн шугам, тоноглолын реле хамгаалалт автоматикийн байгууламжийн өнөөгийн байдал, тасралтын үеийн реле хамгаалалт автоматикийн найдвартай ажиллагааны судалгааг хүчдэлийн түвшин бүрээр гарган ямар төрлийн гэмтлээс болж хамгийн их тасралт гарч байгаа мөн ямар хамгаалалт ажиллаж байгаа болон реле хамгаалалт, автоматикийн байгууламжийн шинэчлэлийн талаар дүн шинжилгээ хийлээ. Судалгаагаар реле хамгаалалт, автоматикийн байгууламжийн насжилтын судалгааг гаргаж, автоматикийн байгууламжийн ажиллагааны талаар сүүлийн 5 жилийн судалгааг гарган харьцуулж, үүний үр дүнгээс цаашдаа найдвартай ажиллагааг нэмэгдүүлэх арга хэмжээг төлөвлөн хэрэгжүүлснээр гарах үр дүнг тодорхойлсон болно.

**Түлхүүр үг**–Найдвартай ажиллагаа, тасралт, шинэчлэлт, реле хамгаалалт, автоматик.

### I. ОРШИЛ

Дамжуулах сүлжээний Улаанбаатар бүсийн суурилагдсан хүчин чадал 2475 МВА байдаг [6]. Одоогоор хотын төвийн 8 дүүрэг, төвийн бүсийн аймгийн 16 суманд цахилгаан эрчим хүчийг дамжуулах үйл ажиллагаа явуулж, 220, 110 кВ-ын өндөр хүчдэлийн цахилгаан дамжуулах /нэг хэлхээнд шилжүүлснээр/ 1543,898 км шугам, 34 дэд станцын ашиглалт, засвар үйлчилгээ болон найдвартай ажиллагааг ханган ажилладаг [6]. Ашиглалтад байгаа шугам тоноглолын найдвартай ажиллагаа нь реле хамгаалалт, автоматикийн байгууламжтай салшгүй холбоотой билээ. Иймээс энэхүү судалгаагаар Дамжуулах сүлжээний Улаанбаатар бүсийн 6 кВ-ын 66 ш фидер, 10 кВ-ын 646 ш фидер, 35 кВ-ын 141 ш ЦДАШ, 110 кВ-н 323 ЦДАШ, 220 кВ-ын 17 ЦДАШ, 53 ш хүчний трансформатор, 6 ш Автотрансформаторын туршилт тохируулга болон 220/110 кВ-ын 18 иж бүрдэл шинийн хамгаалалтын реле хамгаалалт, автоматикийн байгууламжийн шинэчлэлт, насжилт болон шугам тоноглолын тасралтын үеийн найдвартай ажиллагааны талаар судлахад оршино.

### II. СУДАЛГААНЫ ХЭСЭГ. ДАМЖУУЛАХ СҮЛЖЭЭНИЙ УЛААНБААТАР БҮСИЙН РЕЛЕ ХАМГААЛАЛТ, АВТОМАТИКИЙН БАЙГУУЛАМЖ (РХАБ)-ИЙН ӨНӨӨГИЙН БАЙДАЛ

1. Дамжуулах сүлжээний Улаанбаатар бүсийн шугам тоноглолын реле хамгаалалт, автоматикийн байгууламжийн ашиглалтад орсноос хойш 2021 оныг хүртэлх механик элементийн бааз дээр хийгдсэн реле хамгаалалтаас микропроцессорын элементийн

бааз дээр хийгдсэн реле хамгаалалт руу шилжсэн шинэчлэлийг дараах графикаар харуулав.



1-р зураг. Улаанбаатар бүсийн шугам, тоноглолын РХАБ-ийн шинэчлэлт

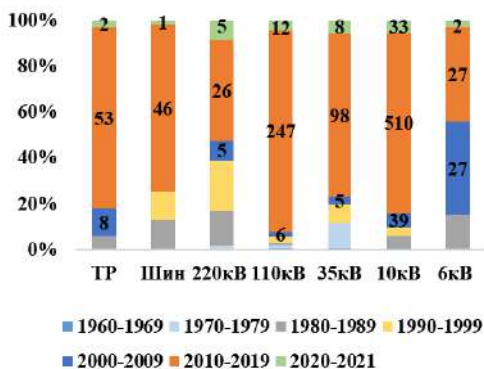
Дээрх графикаас харахад трансформаторын шинэчлэлт нь 94,2 % буюу хамгийн их байгаа нь харагдаж байна. Харин хүчдэлийн түвшнээр харьцуулахад 110 кВ-ын шугам тоноглолын хувьд хамгийн их буюу 93,09%-ийн шинэчлэл хийгдсэн байна [7]. Ийнхүү механик РХАБ-ийг шинэчилснээр найдвартай ажиллагааг дараах байдлаар сайжруулж байдаг [2]. Үүнд:

1. Олон функц агуулдаг давуу талтай.
2. Аваарын бичлэг хадгалах болон түүнд дүн шинжилгээ хийх боломжтой.
3. Гэмтлийн зайг тодорхойлох боломжтой.
4. Удирдлагын хэлхээ схемийг хялбарчилсан.
5. Хамгаалалт дохиоллын хэсгийг нь хамт шийдсэн.
6. Хамгаалалтын хэрэглэх чадал багассан.
7. Тэжээлийн хүчдэлийн өргөн зурваст ажилладаг.
8. Механик гэмтэл багассан.
9. Реле хамгаалалтын хэлхээнд хийх ажил үйлчилгээ багассан.



10. Нэгдсэн систем үүсгэн алсаас удирдах боломжтой.
11. Бусад төхөөрөмжтэй уялдан ажиллах өргөн боломжтой.
12. Реле хамгаалалт болон автоматикийг хамтад нь шийдсэн.
13. Өөрөө өөрийгөө хянах боломжтой болсон.
14. Үйлдэл бүрийг бүртгэх боломжтой.
15. Ашиглалтын хугацаа өндөр гэсэн боломжуудыг бүрдүүлж өгсөн байдаг.

2. Улаанбаатар бүсийн шугам, тоноглолын РХАБ-ийн 1960-2021 онуудын хооронд ашиглалтад орсон байдлаар шинэчлэлийг хүчдэлийн түвшнээр ангилан, ашиглалтын түвшнийг тодорхойлж, насжилтын судалгааг гаргав (2-р зураг). 2-р зураг-д үзүүлсэн графикаас харахад 2010-2019 онуудын хооронд хамгийн их тоноглол шинээр ашиглалтад орж, шинэчлэлийн ажил хийгдсэн нь харагдаж байна.



2-р зураг. Улаанбаатар бүсийн шугам, тоноглолын РХАБ-ийн шинэчлэл (хүчдэлийн түвшнээр).

1-Р ХҮСНЭГТ. ШУГАМ, ТОНОГЛОЛЫН АШИГЛАЛТЫН ТҮВШИН

РХА-ын төрөл/насжилт	1-10	11-20	31-40	41-50	51-60	61-70	нийт
Тр-ын хамгаалалт	55	4	0	4	0	0	63
Шинийн хамгаалалт	56	0	8	8	0	0	72
220 кВ-ын ЦДАШ РХА	58	7	10	4	1	0	80
110 кВ-ын ЦДАШ РХА	302	8	7	2	4	0	323
35 кВ-ын ЦДАШ РХА	115	3	7	0	15	1	141
10 кВ-ын шугам РХА	549	39	22	29	0	7	646
6 кВ-ын шугам РХА	29	27	0	10	0	0	66
Нийт дүн	1164	88	54	57	20	8	1391
	83,7%	6,3%	3,9%	4,1%	1,4%	0,6%	100%
	Механик-153 /11%/			МП-1238 /89%/			

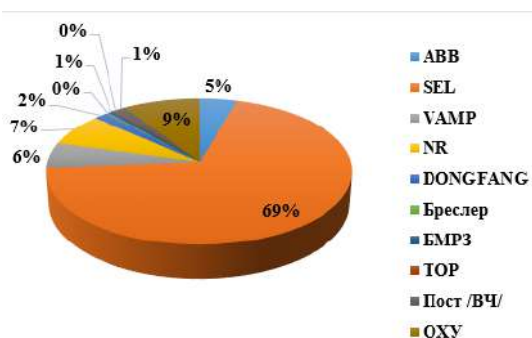
Микропроцессорын реле хамгаалалтын үйлдвэрийн баталгаа нь 10 жил, ашиглалтын хугацаа нь 30 жил байдаг [5]. Механик реле хамгаалалтын ашиглалтын хугацаа нь 30 жил байдгийг үндэслэн Улаанбаатар салбарын РХАБ-ийн ашиглалтын судалгааг гарган 3-р зураг-д харуулав.



3-р зураг. Улаанбаатар бүсийн шугам тоноглолын РХАБ-ийн насжилт

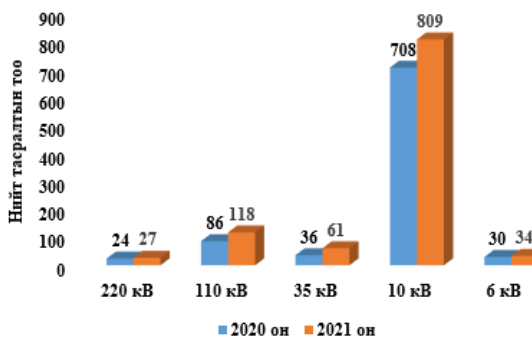
Дээрх судалгаанаас ашиглалтын хугацаа дууссан механик РХАБ-ийг одоо хүртэл ашиглаж байгаа нь найдвартай ажиллагаанд сөргөөр нөлөөлөх үндэслэл юм [1]. Гэхдээ ашиглалтын хугацаа дууссан РХАБ-ийг үе шаттайгаар шинэчлэх ажил хийгдэж байна.

3. Улаанбаатар бүсийн хэмжээнд ашиглаж буй РХАБ-д дараах 10 нэр төрлийн реле хамгаалалтын төхөөрөмжийг ашиглаж байна [7]. Үүнээс хамгийн их буюу 69%-ийг SEL фермийн микропроцессорын реле хамгаалалт эзэлж байна.



4-р зураг. Шугам, тоноглолд ашиглагдаж буй РХАБ.

4. Дамжуулах сүлжээний Улаанбаатар бүсэд харьяалалтай шугам, тоноглолын тасралтын судалгааг хүчдэлийн түвшнээр ангилж 5-р зураг-д үзүүлэв.



5-р зураг. 2021 онд шугам, тоноглолд гарсан тасралтыг 2020 онтой харьцуулсан харьцуулалт (хүчдэлийн түвшин бүрд).

5-р зураг-д үзүүлсэн графикаас харахад 10 кВ-ын гарсан шугамын тасралт нь хамгийн их гардаг нь харагдаж байна. 10 кВ-ын шугамын тасралтын хамгийн элбэг тохиолддог шалтгаан нь кабель гэмтэх юм. Энэ нь түгээх сүлжээнд кабель шугамын хуучралт болон гаднын байгууллагууд кабелийн хамгаалалтын зурваст зөвшөөрөлгүй газар шорооны ажил гүйцэтгэснээс болж тасралт ихээр гарч байна [3].

Тасралтын тоог хүчдэлийн түвшнээр тус бүрд нь авч үзвэл:

- 220 кВ-ын хүчдэлийн түвшний шугам, тоноглолын тасралт.

220кВ-ын шугам, тоноглолын тасралтын судалгаанаас харахад олон улсын стандарттай харьцуулахад тасралтын тоо хэвийн, гарсан гэмтлүүдэд хамгаалалт селектив бус ажилласан тохиолдол байхгүй бөгөөд ШОВ-2, СВ-220 кВ-ын тоноглолуудад тасралт гараагүй байна. Шугам, тоноглолд гарсан гэмтэлд 100% үндсэн хамгаалалт ажилласан [7].

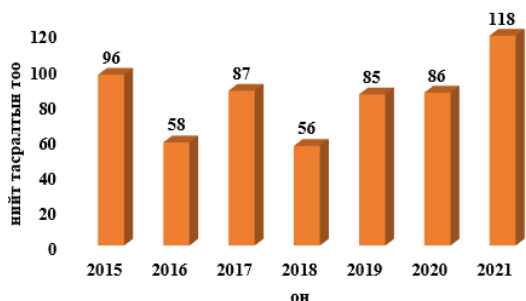
2-Р ХҮСНЭГТ. 220 кВ-ЫН ШУГАМ, ТОНОГЛОЛЫН ТАСРАЛТ

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
АШ-203	4	1	2	6	3	2	3
АШ-204	-	-	1	2	-	-	1
АШ-205	3	2	1	-	1	1	-
АШ-206	1	-	-	1	2	8	5
АШ-208	48	7	25	6	10	10	13
АШ-209	4	1	1	-	2	3	-
АШ-210	1	1	2	-	2	-	-
АШ-213	-	-	-	-	-	-	4
АШ-214	-	-	-	-	-	-	1
ШОВ-2	-	2	1	-	2	-	-
СВ-220	-	3	2	4	1	-	-
Нийт	61	17	35	20	23	24	27

- 110 кВ-ын хүчдэлийн түвшний шугам, тоноглолын тасралт.

110 кВ-ын сүлжээнд тасралтын судалгааг 2015-2021 онуудад хийсэн ба хамгийн ихдээ 2021 онд нийт 118 удаагийн тасралт гарч, реле хамгаалалт, автоматик (РХА) ажилласнаас 12 удаа селектив бус ажилласан байна [7].

110 кВ-ын тасралтын судалгаа



6-р зураг. 110 кВ-ын шугам, тоноглолын тасралт (2015-2021).

Жишээ болгон дараах 3-р хүснэгтэд 2021 оны 110 кВ-ын шугам, тоноглолд гарсан тасралт дээр РХА-ын селектив бус ажиллагааг үзүүлэв.

110 кВ-ын 2021 оны тасралтын тоо нь бусад онуудаас их байгаа нь сүүлийн 2-3 жилд хийгдсэн шинэчлэлийн ажилтай холбоотой юм. Гэхдээ шугам, тоноглолын тасралтын тоо ихэссэн ч хамгаалалтын найдвартай ажиллагаа хэвийн байсан тул реле хамгаалалтын найдваржилтад нөлөөлөх хүчин зүйл биш байгаа нь харагдаж байна.

3-р хүснэгтэд үзүүлсэн 110/10 кВ-н Амгалан дэд станцын Т-2 трансформаторын реле хамгаалалтын селектив бус ажиллагаанд дүн шинжилгээ хийхэд: Тогтмол гүйдлийн хэлхээнд 2 цэгийн газардлага гарахад Т-2 трансформаторын хийн хамгаалалтын оролт идэвхжиж селектив бус ажиллах шалтгаан болсон [7]. Иймд РХАБ-д ашиглагдаж байгаа бүх төрлийн хоёрдогч хэлхээний кабелийг экрантай болгох мөн цуглуулгын хайрцгийн битүүмж сайжруулах шаардлагатай. Ингэснээр тогтмол гүйдлийн хэлхээнд газардлага гарахаас сэргийлээд зогсохгүй цаашлаад шугам тоноглолын селектив бус ажиллагааг багасгах арга хэмжээ болох юм.

3-Р ХҮСНЭГТ. 110 кВ-ЫН ШУГАМ, ТОНОГЛОЛЫН РХА-ИЙН АЖИЛЛАГАА

Тасралт	Тоноглол		тоо	Хамгаалалт
	Станц	шугам		
Селектив			106	
Селектив бус	Хөшигт	АШ-139	2	Газ-1
	Хөшигт	АШ-140	2	Газ-1
	Амгалан	Т-2	1	Хийн хамгаалалт
	Шонхор	СХТ	1	МТЗ
	ИХБ-3	Дундгол	2	Зайн-3
	ИХБ-4	АШ-112	1	ВЧБ
	ИХБ-4	ШОВ-2	1	Деление шин
	ИХБ-4	АТ-1	1	Бэлтгэл хамгаалалт
	Туул	АШ-106	1	ВЧБ
				12

- 35 кВ-ын хүчдэлийн түвшний шугам, тоноглолын тасралт.

35кВ-ын шугам, тоноглолд 2021 онд нийт 61 удаагийн тасралт гарсан ба эдгээрт МТЗ-25, ТО-10, ЧВА-7, Газардлагын хамгаалалтаар-4, Дагуу дифференциал хамгаалалтаар-1, АЧР-10, хүчдэл бууралтын хамгаалалт-4 удаа тус тус ажилласан байна [7].

4-Р ХҮСНЭГТ. 35 кВ-ЫН ШУГАМ, ТОНОГЛОЛЫН ТАСРАЛТ БА РХА-ИЙН АЖИЛЛАГАА (2021)

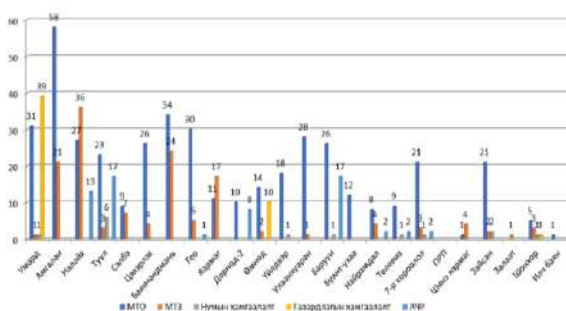
Дэд станцын нэр	Гаргал а	ЧВА	Дд	АЧР	ТО	МТЗ	Х.Б.Х	Нийт
Сонгино	35 кВ СХТ, Оролт-2					2		2
ИХБ-3	Холбоо-А.Б	2	1					3
Багахангай	Өндөр толгой				1			8

	Ган туйван				5	2		
Сэлбэ	T-2 35 кВ					1		
	Яргайт-А.Б		3	1				5
Найрамдал	Баянгол-А.Б		2		3	1		6
Телевиз	Хөгжил-А.Б		2					2
Налайх	Баянзүрх-А					1		3
	Хийт				2			
Яармаг	Зуунмод-А,б		1		11	1		15
	Нисэх-А					2		
Дорнод-2	Гачуурт	4	1					6
	Цэлмэг-Б					1		
Цэвэрлэх	Рашиант		1		1	2		4
Баянчандмань	Мон-наран			1				1
Туул	Олимп-Б					1		1
ИХБ-2	Холбоо-А	2						
	Холбоо-Б	2						
	Цэвэрлэх	1						
нийт								61

- 6 кВ-ын хүчдэлийн түвшний шугам, тоноглолын тасралт.

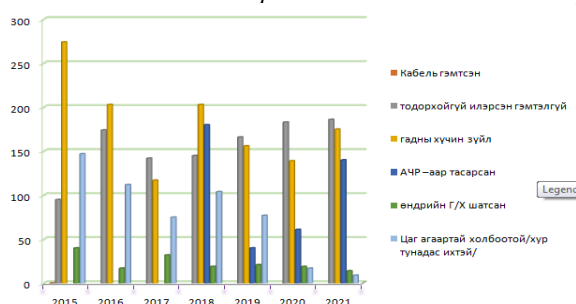
5-Р ХҮСНЭГТ. 6 КВ-ЫН ШУГАМ, ТОНОГЛОЛЫН РХА-ИЙН АЖИЛЛАГАА (2021)

№	ДС-ын нэр	Газ.хам	АЧР	ТО	МТЗ	Нийт
1	Өмнөд	3	13	3		19
2	Умард		8	4		12
3	Дунд-гол			3		3
Нийт						34



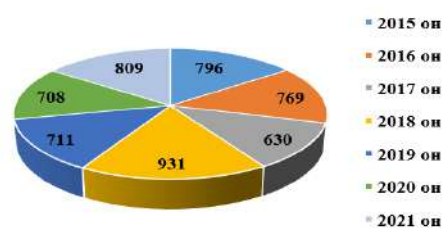
7-р зураг. 6 кВ-ын шугам, тоноглолыг тасралт ба ажилласан РХА (2021)

- 10 кВ-ын хүчдэлийн түвшний шугам, тоноглолын тасралт.



8-р зураг. 10 кВ-ын шугам, тоноглолын тасралт (2015-2021).

10 кВ-ын нийт тасралтын тоо



9-р зураг. 10 кВ-ын шугам, тоноглолын РХА-ийн ажиллагаа (2021)

5. Дамжуулах сүлжээнд ашиглагддаг автоматикууд болон түүний ажиллагаа

Автоматикийн байгууламж нь системийн тогтворжилт алдагдахаас сэргийлэх, системийн тогтворжилт алдагдсан тохиолдолд үүсэж болох аваарын үр дагаврыг хамгийн бага хэмжээнд барьж, системийг бүрэн зогсохоос сэргийлэх, аваарын дараах тогтворжсон горимд системийг аваачих үүрэгтэй [1].

Дамжуулах сүлжээнд дараах автоматикууд хамаардаг. Үүнд:

- АПВ- Дамжуулах сүлжээнд синхрон хянах АПВ, шин хүчдэлтэй шугам хүчдэлгүйг хянах АПВ, ОАПВ болон ТАПВ-ын төрлүүдийг ашигладаг [7].

Синхрон залгахад биелэгдэх ёстой нөхцөлүүд биелэгдэх үед залгагддаг [2]:

- $E_r = U_c$  – ген-рын хүчдэл системийн

хүчдэл хоорондоо тэнцүү. (1)

- $f_r = f_c \quad \omega_r = \omega_c, \quad f_s = f_r - f_c \rightarrow 0$  -

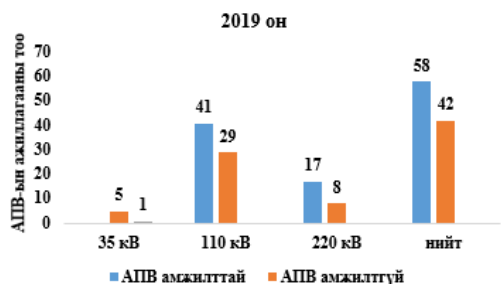
генераторын давтамж, системийн давтамж хоорондоо тэнцүү (2)

- $\delta_{вкл}(\delta_{отк}) = 0$  – генератор, системийг

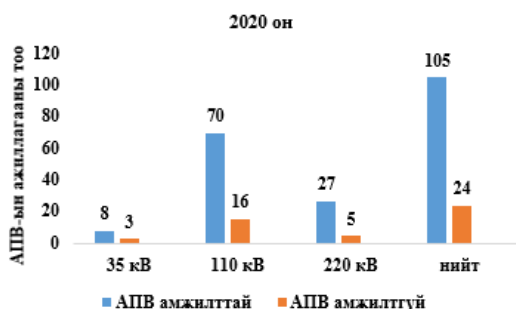
залгах үед хооронд нь өнцгийн зөрөөгүй байх (3)

- АЧР- Нэгдсэн сүлжээнд чадлын дутагдал үүсэж, системийн давтамж унасан үед давтамжийн бууралтыг зогсоож, тогтворжуулах зориулалт бүхий давтамжаар ачаалал хөнгөлөх автоматик /АЧР/-ийн хөтөлбөрт 731,5 МВт чадал орсон нь нэгдсэн сүлжээний 2021-2022 оны өвлийн их ачааллын горимд төлөвлөгдсөн оргил ачаалал P=1360 МВт-тай харьцуулахад тус ачааллын 53,8%-хөнгөлөхөөр байна. Харин Улаанбаатарын бүсэд нийт 520,1 МВт хөнгөлөхөөр байна [4].

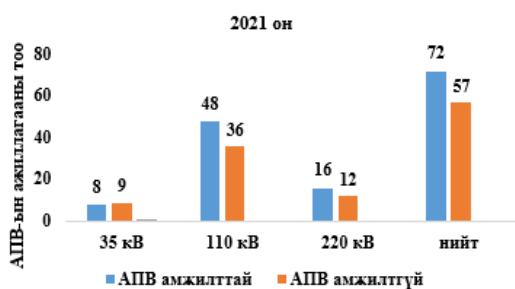
- Хүчдэл бууралтын хамгаалалт АПВ-ын ажиллагааны судалгааг сүүлийн 3 жилээр харьцуулж харуулбал:



10-р зураг. Шугам тоноглолын АПВ-ын ажиллагаа (2019).



11-р зураг. Шугам тоноглолын АПВ-ын ажиллагаа (2020).



12-р зураг. Шугам тоноглолын АПВ-ын ажиллагаа (2021).

Дээрх судалгаанаас харахад АПВ амжилтгүй буюу яваагүй шалтгаан нь ихэнхдээ тогтвортой богино залгаа үүссэн үед, АПВ-ын залгах нөхцөл бүрдээгүй буюу (синхрон хяналттай), Механик гэмтлээс үүдэлтэй зэрэг төрлүүд багтаж байна [7].

Мөн нийт ажилласан АПВ-ын амжилттай ажиллагаа нь дийлэнх байгаа хэдий ч, энэ тохиолдолд шугам, тоноглолд ямар нэгэн үзлэг, гэмтлийн бичлэг зэргийг авч хийхгүй байгаа нь шугам, тоноглолын насжилтад сөргөөр нөлөөлөх нэг хүчин зүйл болох магадлалтай юм

### Ш. ДҮГНЭЛТ

Дамжуулах сүлжээний Улаанбаатар бүсийн реле хамгаалалтын байгууламж нь сүүлийн жилүүдэд эрчимтэй шинэчлэгдэж, одоогоор нийт шугам тоноглолын 11% нь механик элементийн баазтай РХА, 89% нь

микропроцессорын РХА эзэлж байна. Харин шугам, тоноглолын реле хамгаалалтын ажиллагааг хүчдэлийн түвшин бүрд гаргаж харьцуулахад найдвартай ажиллагаа нь 96% байгаа бөгөөд, энэ нь олон улсын жишигтэй харьцуулахад хэвийн үзүүлэлт гарч байна.

Харин селектив бус ажиллагаа болох 4 % нь гадны хүчин зүйл (хоёрдогч хэлхээний гэмтэл г.м) болон хүний буруутай үйл ажиллагаа, мөн зарим шугам, тоноглолын реле хамгаалалт нь ачааллын гүйдлийн ихсэлтээс болж селектив бус ажиллаж байна.

Автоматикийн ажиллагааны хувьд 110, 220 кВ-ын систем үүсгэгч транзит шугамууд дээр синхрон хянаж залгах болон шугам хүчдэлгүйг хянаж залгах АПВ тавигдсан байдаг. Энэ тохиолдолд транзит шугам нэгэн зэрэг залгах эрсдэл үүсэх боломжтой. Иймээс дээрх дурдсан асуудал дээр тавил тооцоог гүйцэтгэж буй байгууллага ашиглагдаж байгаа реле хамгаалалтын логик болон салбарласан дэд станцуудын ачааллыг сайн судалж тооцох шаардлагатай гэж үзэж байна.

### IV. НОМ ЗҮЙ

- [1] Ж.Бат-Эрдэнэ “Эрчим хүчний системийн реле хамгаалалт” Улаанбаатар 2019 он
- [2] Ж.Арслан, Б.Мандах “Цахилгаан хангамжийн реле хамгаалалт, автоматик” Улаанбаатар 2016 он
- [3] УБЦТС ТӨХК-ийн ашиглалтад буй цахилгаан тоноглолын гэмтэл ба реле хамгаалалтын судалгаа. М.Баттулга, Д.Хосбаяр, Б.Даваасамбуу, 2022, Эрчим хүч & engineering 2022-2(216)
- [4] ДҮТ ТӨХХК, ЦДҮС ТӨХК-ийн АЧР-ын өвөл зуны хөтөлбөр
- [5] <https://selinc.com/products/>
- [6] <https://www.transco.mn/>
- [7] <http://data.transco.mn/index.php?r=site/login>

## ЛЮМИНЕСЦЕНТ ТӨВЛӨРҮҮЛЭГЧ БҮХИЙ ХОСОЛМОЛ НАРНЫ ЦАХИЛГААН ҮҮСГҮҮРЭЭР БАРИЛГЫГ ЭРЧИМ ХҮЧЭЭР ХАНГАХ СУДАЛГАА

Ц.Мөнхжавхлан<sup>1</sup>, Г.Төгсбүс<sup>2</sup>, М.Ганхүлэг<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Цахилгаан техникийн салбар

<sup>2</sup> Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Дулааны инженерийн салбар  
[muumu.0303@gmail.com](mailto:muumu.0303@gmail.com), [tugsbusg@gmail.com](mailto:tugsbusg@gmail.com), [gankhuleg@must.edu.mn](mailto:gankhuleg@must.edu.mn)

*Хураангуй*–Барилгын хийцэд нэгтгэсэн нарны цахилгаан үүсгүүр (BIPV) нь хот суурин газарт нарны цахилгаан үүсгүүрийг ашиглах боломжийг хангаж өгөн, оптикийн болон дулааны технологиудтай хослон замаар инженер, архитектурын шаардлагыг ханган ажилладаг. Ялангуяа барилгын цонх болон тунгалаг гадаргууд PV хавтанг суурилуулах боломжгүй үед люминесцент нарны төвлөрүүлэгч нь оновчтой шийдэл болох бол дулаан болон цахилгаан эрчим хүчийг зэрэг үйлдвэрлэх нарны цахилгаан үүсгүүр нь эрчим хүчний үйлдвэрлэлийг нэмэгдүүлэх хосолмол систем болдог. Уг судалгааны ажлаар барилгын хийцэд нэгтгэсэн оптикийн болон дулааны нарны цахилгаан үүсгүүрийг судалсан ба тооцоолол болон судалгааны үр дүнд Монгол орны нөхцөлд ашиглагдах боломжтойг тогтоосон болно.

*Түлхүүр үг*–нарны цахилгаан үүсгүүр (PV), BIPV, барилгын хийцэд нэгтгэсэн дулааны нарны цахилгаан үүсгүүр (BIPV-T), люминесцент нарны төвлөрүүлэгч (LSC), оптикийн үр ашиг.

### I. УДИРТГАЛ

Дэлхийн хэмжээнд нийт үйлдвэрлэсэн цахилгаан эрчим хүчний ойролцоогоор 40%-ийг барилга, байгууламжийн эрчим хүчний хэрэглээ эзэлдэг бөгөөд үүнийг чулуужсан түлшинд суурилсан эрчим хүчний төвлөрсөн системээс бүрэн хангах нь сэргээгдэх эрчим хүчний нөөцийн хэмжээ, технологийн дэвшлийг харгалзан үзвэл учир дутагдалтай юм [1]. Орчин үеийн технологийн шийдлийн хувьд Нарны цахилгаан үүсгүүрийг (PV) барилгын фасад, цонх, дээвэр гэх мэт гадна өнгөлгөө, бүтээцийн материалын оронд орлуулах замаар Барилгын Хийцэд Нэгтгэсэн Нарны Цахилгаан үүсгүүрийн (BIPV) технологийг 1986 оноос хойш дулааны болон оптикийн технологиудтай хослуулан ашиглаж байна [2]. Харин Монгол улсын хувьд уг технологийг ашиглаж байгаа туршлага байхгүй боловч барилгын дээвэр дээр нарны хавтанг тодорхой өнцгийн дагуу суурилуулан (BAPV) ашиглаж байгаа туршлага байгаа билээ.

Хэдийгээр нарны цахилгаан үүсгүүрийг барилгын хийцэд нэгтгэн, эсвэл суурилуулан ашиглах нь эрчимтэй хөгжиж буй боловч зах зээлд өргөн тархсан, өндөр үр ашигтай PV модуль нь гэрэл нэвтрүүлэх боломжгүй, мөн ихэнх тохиолдолд эрчим хүч үйлдвэрлэл нь нарны шулуун цацрагаас хамааралтай байдаг. Нарны цахилгаан үүсгүүрийг тунгалаг, хагас тунгалаг хэлбэрээр суурилуулах, мөн нарны сарнисан цацрагийг ихээхэн хэмжээгээр ашиглах шаардлагатай тохиолдолд люминесцент нарны төвлөрүүлэгч (luminescent solar concentrator, LSC) нь энгийн нарны цахилгаан үүсгүүрийг орлуулах технологи болж чаддаг. 1976 оноос люминесцент нарны төвлөрүүлэгчийг нарны эрчимийн тархалтыг төвлөрүүлэх болон PV хавтангийн

талбайн хэмжээг багасгах зорилгоор хөгжүүлж эхэлсэн байдаг [3] ба уг технологийг “оптикийн хосолмол нарны цахилгаан үүсгүүр” хэмээн нэрлэж болно.

PV модулийн гадаргын температур 10°C-ээр нэмэгдэхэд цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэх чадвар нь өсөлт тутамд 5%-аар буурдаг [4] ба уг сул талыг нь харгалзан үзэн нарны хавтгай коллекторыг нарны цахилгаан үүсгүүрийн ард талд суурилуулах замаар BIPV-T буюу “барилгын хийцэд нэгтгэсэн хосолмол нарны дулааны ба цахилгааны үүсгүүр”-ийг практикт ашиглах боломжтой. Энэхүү BIPV-T систем нь цахилгаан эрчим хүчний үйлдвэрлэлийг нэмэгдүүлэн, мөн гадаргуугийн дулааны эсэргүүцлийг ашигтай дулаанд хувирган, барилгын агааржуулалт, дотоод хэрэглээний усыг халаах боломжийг олгоно [5].

Энэхүү судалгааны ажлаар BIPV систем, люминесцент нарны төвлөрүүлэгч, нарны дулааны болон цахилгааны хосолмол үүсгүүрийн ажиллах зарчмыг тодорхойлон, судалгааны объект сонгох замаар Монгол орны нөхцөлд эдгээр технологийг ашиглан эрчим хүч үйлдвэрлэх боломжийг судална.

### II. БАРИЛГЫН ХИЙЦЭД НЭГТГЭСЭН НАРНЫ ЦАХИЛГААН ҮҮСГҮҮР

#### A. Нарны цахилгаан үүсгүүр

BIPV систем нь барилгын хийцийн материалын оронд нарны цахилгаан үүсгүүр суурилуулах замаар практикт ашиглагддаг. Уг технологи нь хагас дамжуулагч элементээс электрон сугаран гарах үзэгдэл дээр суурилдаг ба голчлон нүх болон электроны хослол бүхий давхарга үүсгэх зорилгоор цахиурын элемент

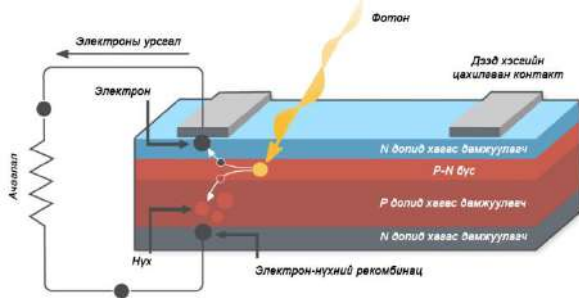
дээр p болон n хольц нэмсэн хагас дамжуулагчаас тогтдог (1-р зураг).

Нарны цахилгаан үүсгүүрийн үйлдвэрлэлд хамгийн түгээмэл хэрэглэгддэг хагас дамжуулагч материал нь монокристалл (m-Si), поликристалл (p-Si), аморф цахиурын (a-Si) элемент бөгөөд мөн цахиуртай адил фотоэлектрик шинж чанартай Галлий Арсенид (GaAs), Зэсийн индийм дизеленид (CIS), Кадмий теллорид (CdTe) болон Зэсийн Индийм Галлий Селенид (CIGS)-ийг нарны цахилгаан үүсгүүрийн технологид ашиглаж байна. Эдгээр нь нарны зайн технологийн эхний 2 үед хамаарах ба үйлдвэрлэлийн зардал бага, эрчим хүч хувиргах үр ашиг ихтэй перовскит нарны зай, ди-синтез нарны зай, төвлөрүүлэгчтэй болон органик нарны зайн технологи нь 3-р үед хамаарна (2-р зураг).

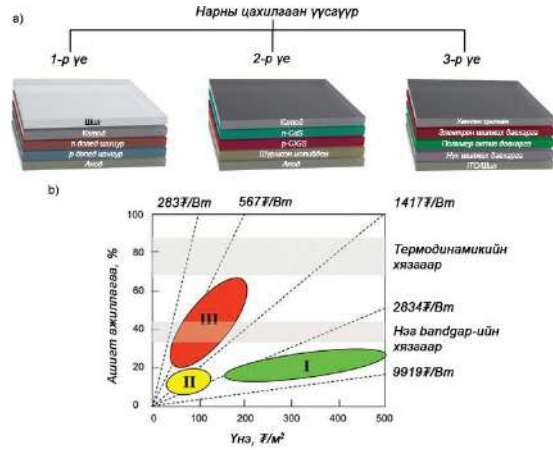
**В. BIPV технологи**

Нарны цахилгаан үүсгүүрийн технологийг ашиглан их хэмжээний чадал үйлдвэрлэх нь зай талбай ихээр шаарддаг ба үүнийг шийдвэрлэх зорилгоор Барилгын Хийцэд Нэгтгэсэн Нарны Цахилгаан Үүсгүүр (BIPV) технологийг нэвтрүүлсэн байдаг. Энэхүү технологи нь уламжлалт барилгын материалыг PV модулиар солих буюу нарны цахилгаан үүсгүүрийг барилгын гадна талд (BIPV) нэгтгэх замаар бүтээгддэг. Жишээлбэл, барилгын фасад, цонх, дээвэр гэх мэт. Гадна талын өнгөлгөөний материалыг нарны үүсгүүрээр солихоос гадна тухайн материал дээр шууд суурилуулан ашиглах боломжтой (BAPV).

BIPV технологи нь 1-р хүснэгтэд үзүүлсэн модулиудыг агуулна.



1-р зураг. Нарны цахилгаан үүсгүүрийн ажиллах зарчим



2-р зураг. Нарны цахилгаан үүсгүүрийн гурван төрөл. I. Моно болон поликристалл; II. аморф-цахиур, CIS, CdTe, CIGS; III. перовскит, ди-синтез, төвлөрүүлэгчтэй, органик нарны зайн технологи [6].

**1-Р ХҮСНЭГТ. BIPV ТЕХНОЛОГИЙН МОДУЛИУД**

<b>BAPV</b>	
BAPV технологи нь PV модулийг нэгтгэх зорилгоор баригдаагүй энгийн болон түүхийн байгуулам-жуудад суурилуулахад оновчтой сонголт юм.	
<b>BIPV модуль</b>	
BIPV модуль нь моно болон поликристалл цахилгаан үүсгүүр-ийг тодорхой зайтай байрлуулсан энгийн модуль юм. Ихэвчлэн цонх болон шиллэгээний зорилгоор барилгын дээвэр, фасад, тагтанд нэгтгэдэг	
<b>BIPV дээврийн заамал болон муруй хавтан</b>	
Асфальт эсвэл тусгай зуурмаг дээр нарны цахилгаан үүсгүүрийг суурилуулж, хамгаалалтын шил, хуванцраар битүүмжлэх замаар гарган авна.	
<b>BIPV ялтсан цаас ба ламинат</b>	
BIPV тугалган болон ламинатын технологи нь уян хатан металл ба полимер хальс дээр аморф-цахиур, CdTe, CIGS-ийн давхаргыг давхарлах замаар бий болдог ба плазмаар сайжруулсан химийн тунадас үүсгэх аргыг өргөн ашигладаг [7]	
<b>BIPV шиллэгээ</b>	
Энгийн шиллэгээний хоёр дох эсвэл гурав дахь давхаргыг нарны цахилгаан модулиар орлуулс-наар бий болдог ба нарны зай хоорондын зай нь 3-50 мм байх ба энэ нь нарны гэрэл нэвтрүүлэлтэд хяналт тавих боломжийг олгоно [8].	

### Ш. БАРИЛГЫН ХИЙЦЭД НЭГТГЭСЭН ХОСОЛМОЛ НАРНЫ ҮҮСГҮҮР

Нарны цахилгаан үүсгүүрийг барилгын хийцэд нэгтгэн ашиглах үед архитектурын шаардлага, эрчим хүч үйлдвэрлэлийн шаардлага зэргээс шалтгаалан оптикийн болон дулааны технологиудтай хослуулан ажиллуулах, мөн BIPV системийн үйлдвэрлэл хэрэглэгчийн цахилгаан ачааллыг хангаж үл хүрэхүйц тохиолдолд нэмэлт үүсгэврүүд болох салхин турбин, батарей систем, шугам сүлжээнээс хэрэглэгчийн ачааллыг хангах гэх мэт инженерийн шаардлагуудыг хангаж ажиллах нь оновчтой сонголт болдог [9].

#### A. Оптикийн хосолмол нарны цахилгаан үүсгүүрийн ажиллах зарчим

Нэг давхарга бүхий p-n гарцтай цахиурын элементийн онолын хамгийн их эрчим хүч хувиргах үр ашиг 30% гэж тооцоологддог [10]. Хэдийгээр уг эрчим хүч хувиргах үр ашиг нь бага биш боловч нарны эрчмийн тархалтаас шалтгаалан үйлдвэрлэлийн хэмжээ бууран, PV модулиудын талбайг нэмэгдүүлэх шаардлагатай болдог. LSC хавтанг барилгын цонх болон тунгалаг хэсгүүдэд суурилуулахад тохиромжтой бөгөөд оптикийн долгион заагч (waveguide) полимер эсвэл шилийг тодорхой долгионы урттай нарны эрчмийг шингээн, илүү уртагасан долгионы уртад дахин цацруулах зорилготой хромофорууд (будагч бодис) буюу люминесцент материалаар допинг хийн уг матриц материалыг гарган авдаг. Энэхүү дахин цацарсан гэрэл буюу фотон нь нийт дотоод ойлтын дагуу (total internal reflection) матриц материалын периметрт байрлуулсан нарны цахилгаан үүсгүүрт тусдаг. Фотон нь люминесцент нарны төвлөрүүлэгчтэй харилцан үйлчлэх үеийн гэрэл болон дулааны шилжилтийн механизмыг 3-р зурагт үзүүлэв.

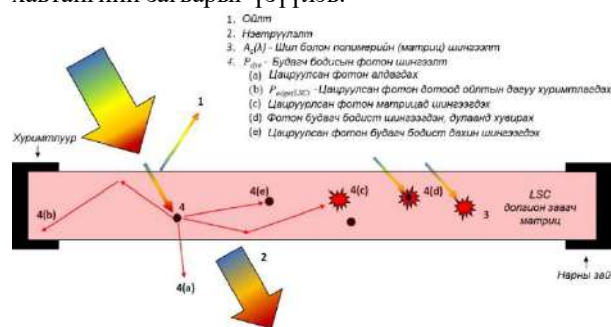
LSC хавтанд туссан гэрэл ойх (1), нэвтрэх (2), шингээгдэх боломжтой ба цаашилбал, матриц материал (3) эсвэл люминесцент будагт (4) шингээгдэх боломжтой. Фотон нь будагч бодисын молекулд шингээгдэх үед шингээсэн будагч бодис нь хоёр дох фотоныг дурын зүгт цацруулах магадлалтай ба хэрэв цацарсан фотон нь LSC хавтангийн гадаргууд нормаль чиглэлтэй бол алдагдах өндөр магадлалтай (4a), харин уг нормаль өнцгөөс ихсэх болон багасах тохиолдолд LSC хавтангийн гадаргуугийн дагуу нийт дотоод ойлтог өртөх магадлал ихсэн, матриц материалын хугарлын индексэй хамаарах критикал өнцгийг давсан тохиолдолд нийт дотоод ойлт бий болон фотон LSC хавтангийн периметрийн дагуу байрлах нарны зайд хуримтлагдана (4b). Уг дотоод ойлтын үед хоёрдогч фотон нь матриц материалд (4c), мөн будагч бодисын молекулд шингээгдэн дулааны алдагдал үүсгэх (4d), эсвэл будагч бодисын молекулд шингээгдэн гуравдагч болоод түүнээс

дээш фотоныг дахин цацаргах боломжтой (4e) [11].

4-р зурагт Италийн Ром хотод байрлах ENI судалгааны төвд хөгжүүлсэн LSC хавтанг үзүүлсэн ба люминесцент будгаар өөрсдийн патент бүхий будгийг ашигласан байна [12] [13].

#### B. Хосолмол нарны дулааны ба цахилгаан үүсгүүр

Барилгын хийцэд нэгтгэсэн нарны цахилгаан үүсгүүр нь фасад болон барилгын нүүрэн талд суурилах үед 90°-аар суурилуулах шаардлагатай болдог ба энэ нь монгол орны нөхцөлд нарны цахилгаан үүсгүүрийг суурилуулах оптималь өнцөг биш учир системийн үйлдвэрлэх эрчим хүчний хэмжээ буурдаг [14]. Мөн PV хавтангийн гадаргын температур нь эрчим хүч үйлдвэрлэлийн хэмжээ буурах бас нэг шалтгаан болдог учир нарны хавтгай коллекторыг нарны цахилгаан үүсгүүртэй хослуулан ажиллуулан, барилгын агааржуулалтын системийг, эсвэл хэрэглээний халуун усыг халалтын температураас ханган, технологийн сул талыг нөхөх боломжтой юм. Уг BIPV-T модулийг коллекторын дулаан шингээгч хавтгай хавтангийн оронд PV хавтанг орлуулах байдлаар гаргаж авах боломжтой ба 5-р зурагт хосолмол хавтангийн загварыг үзүүлэв.



3-р зураг. Люминесцент нарны төвлөрүүлэгчид фотон нэвтрэх үеийн үзэгдлүүд



4-р зураг. а) Шар люминесцент будгаар полимерт допинг хийн гарган авсан LSC хавтан; хүрээгээр нь нарны зайн үүсгүүр суурилуулсан; б) Италийн Ром хотод байрлах ENI судалгааны төвийн гадна байрлах, LSC хавтан суурилуулсан дугуйн зогсоол.



5-р зураг. BIPV-T хавтангийн загварчлал

#### IV. МОНГОЛ УЛСАД БАРИЛГЫН ХИЙЦЭД НЭГТГЭСЭН ХОСОЛМОЛ НАРНЫ ҮҮСГҮҮРИЙГ АШИГЛАХ БОЛОМЖ

##### A. Судалгааны арга зүй

Монгол улсын уур амьсгалын нөхцөлд хосолмол BIPV системийг ашиглах боломжийн судалгаа практикт хараахан хийгдээгүй байгаа ба тийм ч учраас симуляц болон онолд тулгуурласан тооцооллыг тухайн цэгийн нарны радиаци, температур, нарны цаг гэх мэт шаардлагатай параметрийг ашиглан гүйцэтгэнэ.

##### B. Тооцоолол хийх газар ба уур амьсгалын байдал

Тооцоолол хийх газраар Улаанбаатар хот, Хан-Уул дүүргийн 21-р хороонд орших Буянт-Ухаа олон улсын нисэх онгоцны буудлаас 2 км зайд байрласан эзэмшил ашиглалтад олгогдоогүй сул чөлөөтэй газрыг сонгон тооцооллыг гүйцэтгэнэ.



6-р зураг. Тооцоолол хийгдэх газрын байршил. Энд:

	-тооцоолол хийгдэх газар; -нисэх, аюулгүйн зурвас		-ашиглагдаагүй сул чөлөөтэй газар
	-суурьшлын газар		-нийтийн эзэмшлийн зам талбай
			-орон сууц, дундын ашиглалтын газар

##### 2-р хүснэгт. Тооцоолол хийх объектын уур амьсгалын байдал, Улаанбаатар хот

Агаарын дундаж температур (2005-2021)	Өвөл	Хавар	Зун	Намар
	18.75°C	2.54°C	17.8°C	0.61°C
Үнэмлэхүй их/бага температур	38.3°C		-37.3°C	
	Өвөл	Хавар	Зун	Намар

Хур тунадасны нийлбэр (2005-2021)	2.54 мм	12.46 мм	62.42 мм	12.82 мм
Салхины дундаж хурд (1991-2013)	Өвөл 1.83 м/с	Хавар 3.9 м/с	Зун 3.56 м/с	Намар 2.86 м/с

##### C. Тооцоолол хийх объектын мэдээлэл

Тооцоолол хийх объект нь албан байгууллагуудын хэрэгцээнд зориулсан 15 давхар оффисын барилга бөгөөд 7-р зурагт лавлах 3 хэмжээст зургийг үзүүлэв. Уг барилгын нүүрэн тал, зүүн тал, баруун талын хийцэд а) монокристалл нарны цахилгаан үүсгүүр; б) люминесцент нарны төвлөрүүлэгчтэй нарны цахилгаан үүсгүүрийг нэгтгэн өгсөн ба нүүрэн талын монокристалл цахиурын хавтанг нарны хавтгай коллектортой хослуулан ажиллуулна.

Люминесцент нарны төвлөрүүлэгчийн оптикийн долгион заагч материалаар 'полиметилметакрилат' (PMMA), хромофор буюу люминесцент будагч бодисоор 'Lumogen F Red 305'-г сонгон авсан болно. Тооцоолол хийх барилгын мэдээллийг 3-р хүснэгтэд матриц материалын дэлгэрэнгүй мэдээллийг 4-р хүснэгтэд үзүүлэв.

Lumogen F Red 305 будгийг PMMA долгион заагч материалд холиогүй үеийн шингээх нарны долгионы уртыг талст цахиурын нарны элементийн шингээх долгионы урттай харьцуулсан харьцуулалтыг 8-р зургийн а-д; PMMA долгион заагч материалд хольсон үеийн шингээх болон цацаргах долгионы уртыг 8-р зургийн б-д үзүүлэв.



7-р зураг. Тооцоолол хийх барилгын 3 хэмжээст зураг

##### 3-р хүснэгт. Тооцоолол хийх барилгын дэлгэрэнгүй мэдээлэл

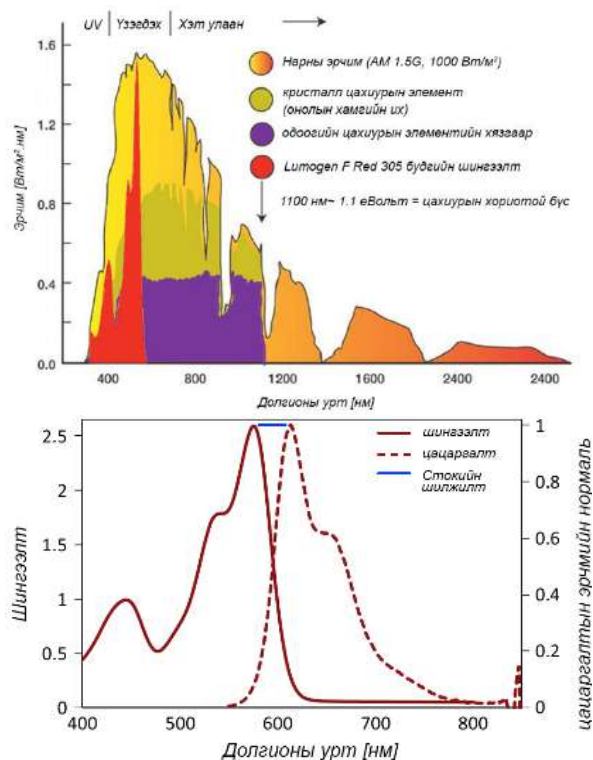
Барилгын ерөнхий мэдээлэл		
Байршил	Улаанбаатар хот (47.8483, 106.7348)	
Барилгын төрөл	Оффисын барилга; 15 давхар	
Ашигтай талбайн нийлбэр	12,879 м <sup>2</sup>	
Өрөөний хэмжээс ба давхрын өндөр	29,45 x 32,3 м; 4 м	
Нарны цахилгаан үүсгүүрийн төрөл ба хэмжээ		
Өмнөд γ = 0°	Монокристалл	Люминесцент нарны төвлөрүүлэгч
	1.451 м <sup>2</sup> x 240 ш= 384.24 м <sup>2</sup>	3.863 м <sup>2</sup> x 240 ш= 927.12 м <sup>2</sup>



Баруун $\gamma = 90^\circ$	Монокристалл	Люминесцент нарны төвлөрүүлэгч
	1.451 м <sup>2</sup> x 84 ш= 121.88 м <sup>2</sup>	3.863 м <sup>2</sup> x 84 ш= 324.492 м <sup>2</sup>
Зүүн $\gamma = -90^\circ$	Монокристалл	Люминесцент нарны төвлөрүүлэгч
	1.451 м <sup>2</sup> x 280 ш= 406.21 м <sup>2</sup>	3.863 м <sup>2</sup> x 280 ш= 1,081.64 м <sup>2</sup>

4-Р ХҮСНЭГТ. МАТРИЦ МАТЕРИАЛЫН ДЭЛГЭРЭНГҮЙ МЭДЭЭЛЭЛ [15] [16]

Полиметилметакрилат (PMMA)	
Химийн томьёо	(C <sub>5</sub> O <sub>2</sub> H <sub>8</sub> ) <sub>n</sub>
Мольн масс	Олон янз
Нягт	1.18 гр/см <sup>3</sup>
Хайлах температур	160°C
Соронзонд мэдрэмтгий байдал	-9.06 × 10 <sup>-6</sup>
Хугарлын индекс	589.3 нм уртад 1.4905
Lumogen F Red 305	
Будгийн төрөл	Перилен
20°C дэх нягт	1.40 гр/см <sup>3</sup>
1 гр PMMA-д эзлэх хувь	0.02%
PMMA материал доторх хамгийн их долгионы шингээлт	$\lambda_{max} = 578$ нм
Квант өгөөж буюу оптикийн үр ашиг	> 90
PMMA-д 0.02%-ийн концентраттай байх үеийн дулааны тогтвортой байдал	300



8-р зураг. а) Lumogen F Red 305 будаг болон талст цахиурын шингээх долгионы урт; б) Lumogen F Red 305 + PMMA үеийн шингээх болон цацаргах долгионы урт

#### D. Люминесцент нарны төвлөрүүлэгчийн тооцоо

Люминесцент нарны төвлөрүүлэгчийн ашигт ажиллагааг тооцоходоо дотоод квант үр ашиг “IQE(λ)”, гадаад квант үр ашиг “EQE(λ)”, оптикийн үр ашгийн (квант өгөөж) тооцоог ашиглаж болох ба энэхүү тохиолдолд LSC хавтангийн оптикийн үр ашгийг тооцоолох замаар люминесцент нарны төвлөрүүлэгчийн ашигт ажиллагааг тодорхойлно. Тооцооллыг нарны цацрагийн буюу фотоны статистикийн хувьд урьдчилан таамаглах боломжтой цацрах, ойх, тархах, хугарах, сарних, шингэх үйлдэл дээр тулгуурласан “Monte Carlo-ийн нарны цацраг дагах” арга дээр үндэслэн [17], Python програмчлалын хэл дээр бичигдсэн, Pvrtrace программыг ашиглан симуляц хийнэ [21]. Уг аргад оптикийн долгион заагч матриц материалыг 4 үндсэн хэсэгт хуваан авч үздэг ба 9-р зурагт бүдүүвч схемийг үзүүлэв [18].

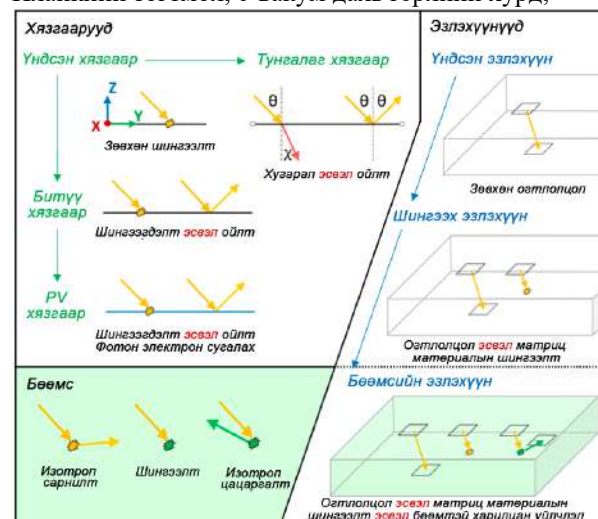
##### 1) Багц

Багц бүхий фотоны элдэв эзлэхүүнээр нэвтрэн өнгөрөх, аливаа хязгаарууд болон бөөмстэй харилцан үйлчлэх үеийн байрлалыг тодорхойлно. Гэрлийн долгионы урт нь тогтмол энергитэй байдаг учир фотоныг багцаар орлуулах нь тооцоололд хялбар байдаг. Нарны цацрагийн нэвтрэх үеийн өнцгийг  $\theta_i$  болон  $\phi_i$  өнцгөөр тодорхойлно.

Харин багц бүхий фотоны гаралт буюу нарны зайн үүсгүүрт шингээгдэж буй хэсгийн тоог дараах томъёогоор тодорхойлно:

$$N_\lambda = \frac{E\lambda}{hc} \quad (1)$$

энд:  $E$ -агшин зуурын энерги,  $\lambda$ -долгионы урт,  $h$ -Планкийн тогтмол,  $c$ -вакум дахь гэрлийн хурд;



9-р зураг. LSC хавтан нь 4 үндсэн хэсгээс бүрдэнэ: фотон багц, эзлэхүүн, хязгаар, бөөмс

##### 2) Эзлэхүүн

Багц нэвтрэн өнгөрөх тодорхой материалаас тогтсон ба гадаргуугаараа хязгааруудаар хүрээлэгдсэн эзлэхүүн бөгөөд үндсэн эзлэхүүн, шингээх эзлэхүүн, бөөмс бүхий эзлэхүүн гэсэн 3

төрөл байна. Багц шингээгдэхээсээ өмнө туулсан замыг тодорхойлохдоо:

$$l_m = -\frac{1}{\alpha_{m,\lambda}} \ln(r_m) \quad (2)$$

энд:  $\alpha_{m,\lambda}$ -туршилтаар тогтоосон гэрлийн уртын шингээлтийн коэффициент,  $r_m$ -0-оос 1 хоорондох дурын тоо. Багц бөөмтэй тулгарах хүртэлээ туулах замыг тодорхойлохдоо:

$$l_p = -\frac{1}{\Gamma} \ln(r_p) \quad (3)$$

энд:  $\Gamma$ -туршилтаар тогтоосон бөөмсийн мөхөлтийн коэффициент;  $r_p$ - 0-оос 1 хоорондох дурын тоо;

### 3) Хязгаар

Багц нь хязгаартай харилцан үйлчлэх үед тухайн хязгаарын шинж чанараас хамааран тодорхой утгаар ойх, нэвтрэх, шингээгдэх боломжтой ба үндсэн хязгаар, тунгалаг хязгаар, битүү хязгаар, PV хязгаар гэсэн 4 төрөл байна.

#### а) Үндсэн хязгаар

Үндсэн хязгаар нь зөвхөн багцын байрлалыг тогтоох үүрэгтэй ба үүний тулд багцын тухайн үеийн оршин буй эзлэхүүний хязгаар бүрийг үнэлэн, багц болон хязгааруудын хооронд огтлолцол үүссэн эсэхийг шалгана.

#### б) Тунгалаг хязгаар

Тунгалаг хязгаар нь үндсэн хязгаарын шинж чанарыг агуулахаас гадна багцын хугарлыг тооцон, багц LSC хавтангаас гарч явах, эсвэл дараагийн эзлэхүүн рүү шилжих боломжийг олгоно. Хугарсан багцын чиглэлийг Snell-ийн хуулийн дагуу тодорхойлно [19]:

$$\chi_\lambda = \sin^{-1} \left[ \sin\theta \frac{n_{1,\lambda}}{n_{2,\lambda}} \right] \quad (4)$$

энд:  $n_{1,\lambda}$ - өмнөх эзлэхүүний хугарлын индекс,  $n_{2,\lambda}$ - шилжихээр зэхэж буй эзлэхүүний хугарлын индекс,  $\theta$ -багцын чиглэлийн туйлын бөмбөрцгийн координат.

Хугарсан багцын чиглэлийг тооцсоны дараа Fresnel-ийн хуулиар долгионы уртын дундаж ойлгох чадварыг тооцоолно [20]:

$$\rho(\theta, \lambda) = \frac{1 \sin^2(\theta - \chi_\lambda)}{2 \sin^2(\theta + \chi_\lambda)} \left[ 1 + \frac{1 \cos^2(\theta + \chi_\lambda)}{2 \cos^2(\theta - \chi_\lambda)} \right] \quad (5)$$

5-р томъёогоор хэрэв дурын 0-1 хооронд авсан тоо нь  $\rho$ -ээс бага гарсан бол фотоны багц хугарсан, нөгөө тохиолдолд ойсон гэх мэтчилэн багцын хугарал болон ойлтыг тодорхойлох боломжтой.

#### в) Битүү хязгаар

Битүү хязгаар нь үндсэн хязгаарын шинж чанарыг агуулахаас гадна багцын тухайн хязгаартай харилцан үйлчлэх үеийн шингээлт болон ойлтыг тодорхойлно.

#### д) PV хязгаар

PV хязгаар нь битүү хязгаарын шинж чанарыг агуулахаас гадна дотоод бүрэн ойлтоор

LSC хавтангийн захад тусах багцын тооллогыг явуулна. Мөн PV хязгаар нь LSC хавтангийн дотоод квант үр ашиг “IQE( $\lambda$ )”, гадаад квант үр ашиг “EQE( $\lambda$ )”, оптикийн үр ашгийг (квант өгөөж) тооцоолох боломжийг олгоно.

$$EQE(\lambda) = \frac{PV \text{ хавтангийн цэнэг зөөгчийн тоо}}{LSC \text{ хавтан дээр тусах гэрлийн фотоны тоо}} \quad (6)$$

$$IQE(\lambda) = \frac{PV \text{ хавтангийн цэнэг зөөгчийн тоо}}{LSC \text{ хавтангийн шингээсэн фотоны тоо}} \quad (7)$$

$$\eta_{op} = \frac{LSC \text{ хавтан дээр тусах гэрлийн фотоны тоо}}{LSC \text{ хавтан дээр тусах гэрлийн фотоны тоо}} \quad (8)$$

### 4) Бөөмс

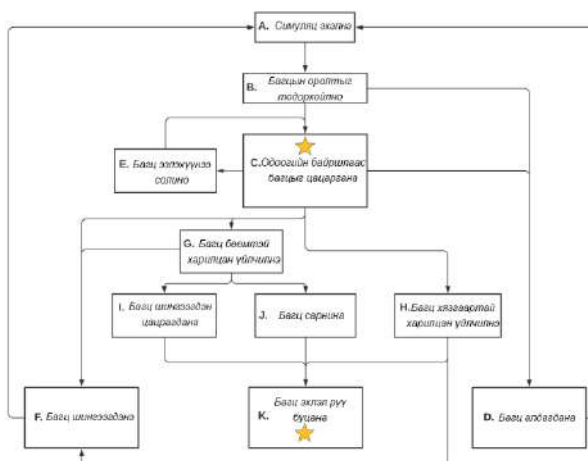
Гэрэл буюу фотоны багц нь люминесцент бөөмстэй харилцан үйлчлэх үеийн сарних, шингээгдэх, цацрагдах шинж чанарыг тодорхойлох ба багцын нэг элементээр бүхэл багцыг төлөөлнө. Багц нь бөөмстэй харилцан үйлчлэх үед гэрлийн долгионы уртаас ( $\lambda$ ) хамаарсан шингээлт  $P_{a,\lambda}$ , сарнилт  $P_{s,\lambda}$ , цацаргалтын  $P_{e,\lambda}$  (шингээлтийн дараах цацаргалт) магадлалыг тооцоолох шаардлагатай болно.  $P_{a,\lambda}$ -ийн утгыг туршилтаар тогтоох ба Lumogen F Red 305 будгийн хувьд 8-р зургийн б-гээс харах боломжтой.  $P_{a,\lambda}$ -г 0-оос 1 хоорондох санамсаргүй тоонд харьцуулан фотоны багц шингэсэн, сарнисан эсэхийг тогтооно. Харин сарних магадлал нь шингээх магадлалын эсрэг үзэгдэл юм ( $1-P_{s,\lambda}$ ). Хэрэв багц нь бөөмтэй харилцан үйлчлэх үедээ шингэвэл квантын үр ашгаар (QE) багц нь бөөмөөс цацарсан эсвэл дулааны алдагдал болон хувирсан эсэхийг тогтооно:

$$P_{e,\lambda} = \frac{\lambda_e}{\lambda_a} QE \quad (7)$$

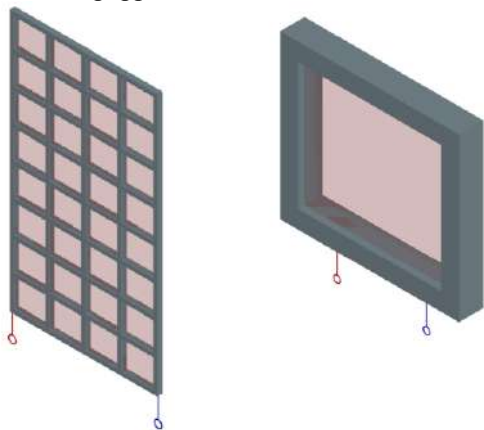
энд:  $\lambda_e$ -цацарсан долгионы урт,  $\lambda_a$ -шингээсэн долгионы урт;

10-р зурагт Python хэл дээр суурилсан Monte Carlo-ийн нарны цацраг дагах симуляцын ерөнхий бүдүүвчийг үзүүлэв.

LSC хавтан нь одоогийн технологийн хувьд люминесцент бөөмсийн болон матриц материалын шингээлтийн алдагдал, сарнилтын алдагдлаас үүдэн уртын дагууд оптикийн үр ашиг нь буурах хандлагатай байдаг [22] ба тиймээс объектын люминесцент нарны төвлөрүүлэгчийг 319 мм × 282 мм × 21 мм хэмжээтэй 32 ширхэг цонхонд хувааж үр ашгийг нь тооцов (11-р зураг).



10-р зураг. Python хэл дээр суурилсан Monte Carlo-ийн нарны цацраг дагах аргын симуляцын ерөнхий бүдүүвч

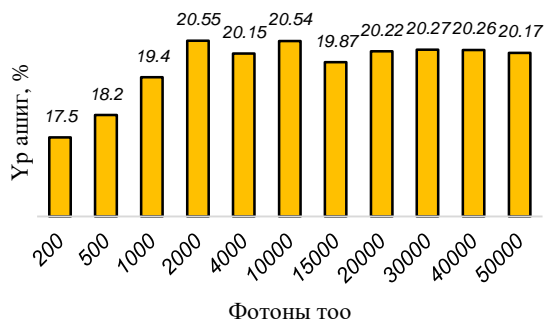


11-р зураг. Люминесцент нарны төвлөрүүлэгчийг цонхонд нэгтгэсэн байдал а) 32 жижиг цонхыг нэгтгэн нэг том хэмжээтэй цонх гаргасан; б) 319 мм × 282 мм × 21 мм хэмжээтэй жижиг цонх үүсгэсэн байдал

**Е. Люминесцент нарны төвлөрүүлэгчийн тооцооны үр дүн**

Нар нь ойролцоогоор нэг секундэд  $10^{45}$  фотоныг цацруулдаг ба энэхүү симуляцад уг тоог ашиглах нь тооцооллыг удаашруулах тул фотоны тоог тодорхой хэмжээгээр нэмэгдүүлэн оптикийн үр ашиг тогтворжих үеийн утгыг дээрх геометрийн хэмжээс бүхий люминесцент нарны төвлөрүүлэгчийг оптикийн үр ашиг гэж авч үзлээ. 12-р зурагт симуляцын үр дүнг үзүүлсэн ба фотоны тоо 20,000-50,000 хооронд хэлбэлзэх үед LSC хавтангийн оптикийн үр ашиг тогтворжсон тул 319 мм × 282 мм × 21 мм бүхий хэмжээтэй, 0.02%-ийн Lumogen F Red 305 люминесцент будаг агуулсан PMMA матриц материалын үр ашиг  $\eta_{op} = 20.2\%$  гэж тооцоологдов.

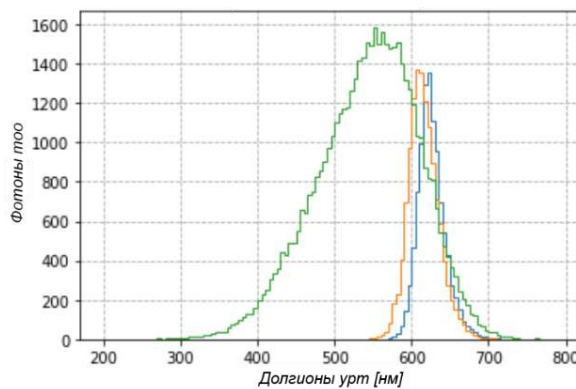
Фотоны тоо 50,000 ширхэг байх үеийн симуляцын үр дүнг 5-р хүснэгтэд болон 13-р зурагт лавлах утга болгон үзүүлэв.



12-р зураг. Фотоны тоо ба оптикийн үр ашиг

**5-Р ХҮСНЭГТ. СИМУЛЯЦЫН ҮР ДҮН**

Фотон болон гадаргын харилцан үйлчлэл			
Байршил	Нэвтэрсэн фотоны тоо	Гарсан фотоны тоо	Гарсан люминесцент фотон
Зүүн	0	0	2358
Баруун	0	0	2498
Дээд	0	0	2594
Доод	0	0	2634
Нүүр	50,000	2406	6948
Ар	0	10137	5487
Симуляцын үр дүн			
Оптикийн үр ашиг			20.17%
Долгион заах а.у.к			0.387
Цацруулалтын бус алдагдал			0.298
Геометрийн концентраци			3.566
Хугарлын индекс			1.5
Матриц материал		PMMA + Lumogen F Red 305 будаг	
Симуляцад ашигласан гэрэл		Нар, AM1.5	



13-р зураг. Долгионы урт ба фотоны тоо.

энд:

- Хавтангийн захад тусах л.фотон
- Нүүр, ар талаар гарсан л.фотон
- Ойсон фотон

**Г. VIPV-T хавтангийн тооцоолол**

Барилгын нүүрэн талын монокристалл цахиурын хавтанг нарны хавтгай коллектортой хослуулан ажиллуулах ба 6-р хүснэгтэд тооцоолол хийхэд шаардагдах параметруудийг үзүүлэв.

6-Р ХҮСНЭГТ. ХОСОЛМОЛ НАРНЫ КОЛЛЕКТОРЫН ХЭМЖИГДЭХҮҮНҮҮД

Хэмжигдэхүүн	Утга
Нарны коллекторын байрлал:	Улаанбаатар
Өргөрөг: 47.8483, Уртраг: 106.7348	47.8483
	106.7348
Тооцоолол хийх огноо: 6-р сарын 15	165
Сар бүрийн төлөөлөх өдөр	n=15
Тооцоох хийх цаг	12:00
Хуулийн цагийн бус	+8
Төхөөрөмжийн налалтын өнцөг	90°
Төхөөрөмжийн азимутын өнцөг	0°
Агаарын мандлын тунгалагшилтын индекс	0.493
Орчны температур	17°C
Салхины хурд	3.9 м/с
Тэнгэрийн температур, орчны температуртай адил	17°C
Нарны тогтмол	1367 Вт/м <sup>2</sup>
Стеффан-Больцманы тогтмол	5.67E-08 Вт/м <sup>2</sup> К <sup>4</sup>
Газрын ойлголт	0.6
Коллекторын нүүрний шилний давхаргын тоо	2
Нүүрний шилний зузаан	3 мм
Шилний унтраалтын коэффициент	K=16.1 м <sup>-1</sup>
Шилний хугарлын индекс	1.526
Шилний цацаргалт	0.89
Шингээх гадаргуугийн шингээлт	0.91
Шингээх гадаргуугийн цацаргалт	0.954
Шил болон шингээх гадаргуу хоорондын зай	22 мм
Коллекторын урт	1.475 м
Коллекторын өргөн	0.983 м
Коллекторын өндөр	0.07 м
Коллекторын арын дулаалгын зузаан	30 мм
Коллекторын дулаалгын материалын дулаан дамжуулалт	0.045 Вт/м°C
Коллекторын хоолой хоорондын зай	100 мм
Ажлын шингэний хоолойн диаметр	10 мм
Шингээх гадаргуугийн зузаан	3 мм
Шингээх гадаргуугийн дулаан дамжуулалт (цахиур)	148 Вт/м°C
Хоолой доторх дулаан дамжуулалт	300 Вт/м°C
Хоолойн диаметр	10 мм
Ажлын шингэний дулаан багтаамж /Пропилен гликол/	4186.8 Ж/кг°C
Коллектороор өнгөрөх ажлын шингэний урсац	0.6 л/с
Оролтын усны температур	40°C

Эдгээр параметрууд дээр тулгуурлан хосолмол нарны коллекторын тооцооллыг [23]-д заасан арга дээр үндэслэн хийнэ. Тооцооллын эхний хэсэгт коллекторын нийт шингээж буй

нарны эрчим хүчийг тодорхойлох ба дараах томъёог ашиглана:

$$S = I_b R_b (\tau\alpha)_b + I_d (\tau\alpha)_d \left( \frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + \rho_g I (\tau\alpha)_g \left( \frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \quad (8)$$

энд:  $I_b$ -төхөөрөмж дээр тусах нарны шууд цацраг,  $R_b$ -налуу гадаргууд тусах нарны шулуун цацрагийн шилжүүлэлтийн коэффициент,  $\tau\alpha$ -шилэн бүрхүүлийн болон шингээх хавтангийн шингээлтийн үржвэр,  $I_d$ -изотропик диффузын цацраг,  $\beta$ - төхөөрөмжийн налалтын өнцөг.

Коллекторын нийт шингээж буй нарны эрчим хүчийг тооцсоны дараа шингээх гадаргуугийн температурыг тааварлан аван коллекторын дулаан алдагдал, шингээх гадаргуугийн үр ашгийн коэффициент, а.ү.к зэргийг тооцоолох ба гарсан үр дүнг ашиглан шинэ шингээх гадаргуугийн температурыг тооцоолон, итерацлах журмаар (9)-(10) хүртэлх тооцоог дахин гүйцэтгэн, шингээх гадаргуугийн температур өөрчлөгдөхгүй болтол үргэлжлүүлнэ.

**Итерацын эхлэл:**

Коллектороос гарч буй ашигтай дулаан:

$$Q_u = A_c F_R [S - U_L (T_i - T_a)] \quad (9)$$

Энд:  $A_c$ -коллекторын шингээгч гадаргуугийн талбай,  $F_R$ -коллекторын дулаан өгөлтийн фактор,  $S$ -коллекторын нийт шингээж буй нарны эрчим хүч,  $U_L$ -коллекторын алдах нийт дулаан,  $T_i$ -таац температур,  $T_a$ -орчны температур.

Шингээх гадаргуугийн дундаж температур:

$$T_{pm} = T_i + \frac{Q_u}{F_r U_L} (1 - F_R) \quad (10)$$

**Итерацын төгсгөл**

**G. BIPV-T хавтангийн тооцооллын үр дүн**

Тооцооны үр дүнг хүснэгт болгон үзүүлэв:

7-Р ХҮСНЭГТ. ХОСОЛМОЛ НАРНЫ КОЛЛЕКТОРЫН ХЭМЖИГДЭХҮҮНҮҮД

Шингээх гадаргуугийн дундаж температур	$T_{pm} = 44.43^\circ\text{C}$
Коллекторын нүүрэн талаар алдагдах дулаан	$U_t = 0.846 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$
Коллекторын нийт дулааны алдагдал	$U_L = 3.317 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$
Коллектороос гарч буй ашигтай дулаан	$Q_u = 88.56 \text{ Вт}$
Коллекторын а.ү.к	$\eta = \frac{Q_u}{I_T A_c} = \frac{q_u}{I_T} = 0.149$

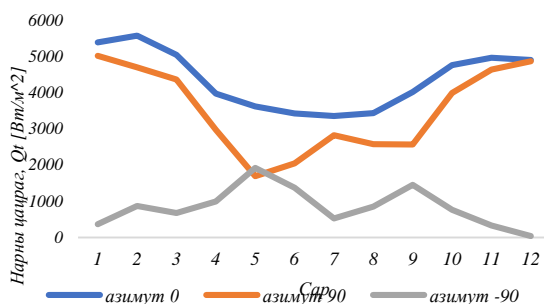
**H. Тооцоолол хийх объектын нарны нөөцийн тооцоо**

BIPV-T хавтан болон люминесцент нарны төвлөрүүлэгчийн эрчим хүч үйлдвэрлэлийн тооцоог хийхийн тулд тухайн газрын нарны нөөцийн тооцоог хийх шаардлагатай ба Лю, Жордан нарын аргад үндэслэн тооцоог гүйцэтгэв [24]. Объектын азимутын 0°, 90°, -90°-д нарны цахилгаан үүсгүүр суурилуулсан тул тухайн газрын нарны нөөцийн тооцоог азимутын өнцөг бүрд тодорхойлно. Хэвтээ гадаргууд тусах нарны

нийлбэр цацрагийн хэмжээг PVsyst програмаас авсан ба тооцооны үр дүнг 14-р зурагт үзүүлэв.

I. BIPV системийн цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэлийн тооцоо

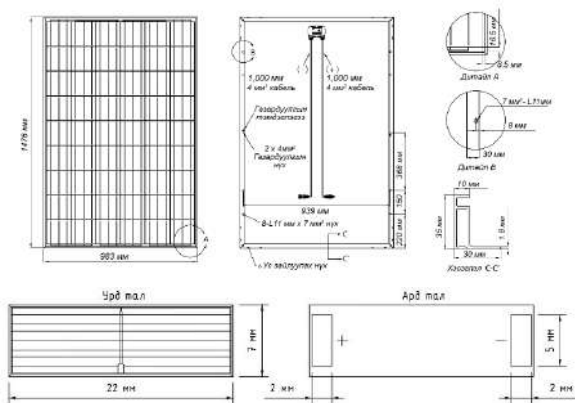
BIPV-T системд суурилуулах PV хавтан болон люминесцент нарны төвлөрүүлэгчийн периметрийн дагуу байрлуулах нарны зайн үүсгүүрийн техникийн үзүүлэлтийг 8-р хүснэгтэд, харгалзах хэмжээсийг 15-р зурагт үзүүлэв.



14-р зураг. Азимутын 0, 90, -90-д байрласан налуу гадаргууд тусах нарны нийлбэр цацраг

8-Р ХҮСНЭГТ. PV ХАВТАНГУУДЫН ҮЗҮҮЛЭЛТ [25] [26]

Параметр	BIPV-T	LSC нарны зай
		Hyundai HIS-S213MF (Хар)
Нэрлэсэн чадал (Pmp)	213 Вт	24.5 мВт
Хамгийн их чадлын үеийн хүчдэл (Vmp)	27.7 В	560 мВ
Хамгийн их чадлын үеийн гүйдэл (Imp)	7.7 А	43.9 мА
Хоосон явалтын үеийн хүчдэл (Voc)	33.6 В	640 мВ
Богино залгааны гүйдэл (Isc)	8.3 А	46.7 мА



15-р зураг. PV хавтангуудын хэмжээс; а) BIPV-T, б) LSC хавтанд суурилуулах нарны зай

Люминесцент нарны төвлөрүүлэгчийн нэг цонх нь 319 мм × 282 мм × 21 мм гэсэн хэмжээтэй бөгөөд ANYSOLAR-ийн 24.5 мВт-ын нарны зайн үүсгүүр 156 ширхэг орох боломжтой байна. Үүнийг 13 цуваа, 12 зэрэгцээ байхаар бүл болгон люминесцент нарны төвлөрүүлэгчийн нэг

цонхонд суурилагдсан нарны зайн үүсгүүрийн холболтыг гарган авна. Нэг LSC хавтан нь 32 ширхэг цонхтой ба 4 цуваа, 8 зэрэгцээ холболтыг үүсгэснээр уг LSC хавтангийн хамгийн их чадал Pmp=122.72 Вт, хамгийн их чадлын хүчдэл Vmp=29.12 В, хамгийн их чадлын гүйдэл Imp=4.2144 А болно. 9-р хүснэгтэд азимутын өнцөг бүрт харгалзах BIPV-T хавтан болон LSC хавтангийн цахилгаан холболтыг үзүүлэв.

9-Р ХҮСНЭГТ. BIPV-T ХАВТАН БОЛОН LSC ХАВТАНГИЙН ЦАХИЛГААН ХОЛБОЛТ

Өмнөд $\gamma = 0^\circ$	BIPV-T хавтан	LSC хавтан
		30 цуваа, 8 зэрэгцээ
Нийт чадал	51189.6 Вт	29453.6 Вт
Зүүн $\gamma = -90^\circ$	BIPV-T хавтан	LSC хавтан
	28 цуваа, 10 зэрэгцээ	
Нийт чадал	59721.2 Вт	34362.53 Вт
Баруун $\gamma = 90^\circ$	BIPV-T хавтан	LSC хавтан
	21 цуваа, 4 зэрэгцээ	
Нийт чадал	17916.36 Вт	10308.76 Вт

BIPV-T системийн цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэлийн тооцоог дараах томъёогоор тооцоолно:

$$E_{\text{өдөр}} = P_{\text{дэл}} * t_{\text{Бн}} * \eta_{\text{бох}} * \eta_{\text{инв}} * \eta_{\text{темл}} * \eta_{\text{каб}} \quad (11)$$

энд:  $E_{\text{өдөр}}$  - Хоногт үйлдвэрлэх цахилгаан энерги [кВт.ц],  $P_{\text{дэл}}$  - Системийн бүрэн чадал [Вт],  $t_{\text{Бн}}$  - Тухайн өдрийн бүтэн нарны цагийн тоо,  $\eta_{\text{инв}}$  - Дэлгэцийн бохирдлогыг тооцсон засварын коэффициент  $\sim 0.9 \div 0.95$ ,  $\eta_{\text{инв}}$  - Инвертерийн ашигт үйлийн коэффициент  $\sim 0.983, 0.98$ ,  $\eta_{\text{темл}}$  - Дэлгэцийн температурын засварын коэффициент  $\sim 0.97$ ,  $\eta_{\text{каб}}$  - Холболтын утас, кабель дээрх эрчим хүчний алдагдлыг тооцсон засварын коэффициент  $\sim 0.95 \div 0.98$ ;

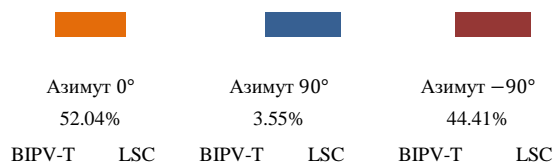
Харин LSC хавтангийн үйлдвэрлэх цахилгаан эрчим хүчийг тооцоходоо оптикийн үр ашгийг тооцоох шаардлагатай:

$$E_{\text{өдөр}} = P_{\text{дэл}} * t_{\text{Бн}} * \eta_{\text{бох}} * \eta_{\text{инв}} * \eta_{\text{темл}} * \eta_{\text{каб}} * \eta_{\text{оп}} \quad (12)$$

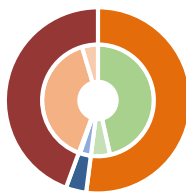
энд:  $\eta_{\text{оп}}$  - LSC хавтангийн оптикийн үр ашиг

J. BIPV системийн цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэлийн тооцооны үр дүн

Уг барилгын хийцэд нэгтгэсэн нарны цахилгаан үүсгүүр нь хоногт дунджаар 407.94 кВт.ц эрчим хүч үйлдвэрлэх боломжтой бөгөөд жилийн эрчим хүчний үйлдвэрлэл нь 149 МВт.ц/жил гэж тооцоологдож байна. 16-р зургийн гадаад дугуй диаграммд нийт эрчим хүчний үйлдвэрлэлийг барилгын өмнө, баруун, зүүн талын нүүрний хэсэгт нэгтгэсэн нарны цахилгаан үүсгүүрийн эзлэх хувиар задлан харуулсан ба мөн дотоод дугуй диаграммд BIPV-T ба LSC хавтангийн үйлдвэрлэх эрчим хүчний эзлэх хувийг харуулав.



46.52% 5.52% 3.19% 0.37% 39.78% 4.62%



16-р зураг. BIPV системийн эрчим хүчний үйлдвэрлэлийн харьцуулалт: эзлэх хувиар

## V. ДҮГНЭЛТ

Люминесцент нарны төвлөрүүлэгч бүхий загварчлалын үр дүнд төвлөрүүлэгчтэй цонхны оптикийн а.ү.к нь  $\eta_{\text{опт}} = 20.2\%$  гэж тооцоологдсон бол практикт ашиглагдаж буй LSC хавтангуудын эрчим хүч хувиргах үр ашиг ойролцоогоор 7% хүртэл ба энэхүү судалгааны ажлын математик тооцооллоор  $\eta_{\text{LSC}} \approx 5\%$  гарсан нь энэхүү LSC хавтанг практикт ашиглах бололцоотойг харуулж байна.

BIPV-T системийн коллекторын а.ү.к нь  $\eta_{\text{col}} = 14.87\%$ , өдөрт үйлдвэрлэх цахилгаан эрчим хүч нь нэг BIPV-т хавтангийн хувьд 0.77 кВт.ц гэж тооцоологдсон.

Уг барилгын хийцэд нэгтгэсэн нарны цахилгаан үүсгүүрийн системийн үйлдвэрлэх эрчим хүчний хэмжээ 148,720.66 кВт.ц/жил бөгөөд барилгын цахилгаан ачаалал болох 261,72 кВт.ц/жил-ийн 56.82%-ийг хангах бүрэн боломжтой.

Азимутын  $90^\circ$ -д буюу баруун зүгт байрласан BIPV-T болон LSC хавтангуудын эрчим хүч үйлдвэрлэл азимутын  $0^\circ$ -д суурилуулсан системтэй харьцуулахад хамгийн бага байсан ба уг тохируулга нь Монгол улсын хувьд оновчгүй суурилуулалт юм.

Системийн зарим тохируулгыг нарийвчлан анхааран үзвэл хосолмол BIPV системийг Монгол орны нөхцөлд ашиглах, барилгын эрчим хүчний хэрэглээг хангах боломжтой бөгөөд нэмэлт, судалгаа, шинжилгээ шаардлагатай байна.

## VI. НОМ ЗҮЙ

- [1] Cibi MR, Manikandan S. Concise overview of BIPV systems and its future scope. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021 Apr 1;1130(1):012033.
- [2] Real MG. 10th european photovoltaic solar energy conference 8-12 april 1991 lisbon, portugal. 1991;(April):1–3.
- [3] Aghaei M, Nitti M, Ekins-Daukes NJ, Reinders AHME. Simulation of a novel configuration for luminescent solar concentrator photovoltaic devices using bifacial silicon solar cells. Applied Sciences (Switzerland). 2020 Feb 1;10(3).
- [4] Peng C, Huang Y, Wu Z. Building-integrated photovoltaics (BIPV) in architectural design in China. Energy and Buildings [Internet]. 2011;43(12):3592–8. Available from:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.032>

- [5] Ibrahim A, Fudholi A, Sopian K, Othman MY, Ruslan MH. Efficiencies and improvement potential of building integrated photovoltaic thermal (BIPVT) system. Energy Conversion and Management. 2014;77:527–34.
- [6] Mrinalini M, Islavath N, Prasanthkumar S, Giribabu L. Stipulating Low Production Cost Solar Cells All Set to Retail...! Vol. 19, Chemical Record. John Wiley and Sons Inc.; 2019. p. 661–74.
- [7] Lamnatou C, Baig H, Chemisana D, Mallick TK. Environmental assessment of a building-integrated linear dielectric-based concentrating photovoltaic according to multiple life-cycle indicators. Journal of Cleaner Production [Internet]. 2016;131:773–84. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.094>
- [8] Jelle BP, Breivik C, Drolsum Røkenes H. Building integrated photovoltaic products: A state-of-the-art review and future research opportunities. Solar Energy Materials and Solar Cells. 2012;100:69–96.
- [9] Hoppmann J, Volland J, Schmidt TS, Hoffmann VH. The economic viability of battery storage for residential solar photovoltaic systems - A review and a simulation model. Vol. 39, Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier Ltd; 2014. p. 1101–18.
- [10] Shockley W, Queisser HJ. Detailed balance limit of efficiency of p-n junction solar cells. Journal of Applied Physics. 1961;32(3):510–9.
- [11] Daigle Q, O'Brien PG. Heat generated using luminescent solar concentrators for building energy applications. Energies. 2020 Oct 24;13(21).
- [12] CISBAT 2013 proceedings. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne; 2013.
- [13] IEEE Staff. 2017 6th International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP). IEEE; 2017.
- [14] Khayankhyarvaa S. Монгол орны нөхцөлд BAPV ба BIPV технологийг ашиглах боломжийн судалгаа [Internet]. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/349850507>
- [15] Collector dyes Technical Information Lumogen F Colorants and Graphic Systems.
- [16] Smith WF (William F, Hashemi J, Presuel-Moreno F. Foundations of materials science and engineering. 1084.
- [17] Harrison RL. Introduction to Monte Carlo simulation. In: AIP Conference Proceedings. 2009. p. 17–21.
- [18] Smith DE, Hughes MD, Patel B, Borca-Tasciuc DA. An open-source monte carlo ray-

- tracing simulation tool for luminescent solar concentrators with validation studies employing scattering phosphor films. *Energies*. 2021 Jan 2;14(2).
- [19] THE MONTE CARLO RAY-TRACE METHOD IN RADIATION HEAT TRANSFER AND APPLIED OPTICS Wiley-ASME Press Series List Introduction to Dynamics and Control in Mechanical Engineering Systems.
- [20] Schneider F, Draheim J, Kamberger R, Wallrabe U. Process and material properties of polydimethylsiloxane (PDMS) for Optical MEMS. *Sensors and Actuators, A: Physical*. 2009 Apr 29;151(2):95–9.
- [21] Science Oreane Yasmin Edelenbosch Supervisor Supervisor Amanda Chatten Wilfried GJHM van Sark EJ. Luminescent Solar Concentrator with a Fibre Geometry. 2011.
- [22] Barciela R, Quintero F, Doval AF, Fernández-Arias M, del Val J, Comesaña R, et al. Monte Carlo simulation of a LSC based on stacked layers of fiber arrays with core-coating different absorbing properties. *Optics Express*. 2021 Jun 21;29(13):19566.
- [23] Duffie JA, Beckman WA. *Solar engineering of thermal processes*. Wiley; 2013. 910.
- [24] Liu\$ BYH, Jordan~ RC. The Interrelationship and of Direct, Diffuse and Characteristic Distribution Total Solar Radiation\*.
- [25] Hyundai Solar Module [Internet]. Available from: [www.hyundaisolar.com](http://www.hyundaisolar.com)
- [26] Ltd A. Typical SolarBIT Performance Data [Internet]. 2020. Available from: <http://www.ansolar.biz>

## ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ БАРИЛГА, БАЙГУУЛАМЖИЙГ БАЙНГЫН АШИГЛАЛТАД ХҮЛЭЭН АВАХ, ХАНГАГЧ БАЙГУУЛЛАГАТАЙ ХОЛБООТОЙ ЗАРИМ АСУУДЛУУД

Э.Чинзориг<sup>1</sup>, Д.Цэрэндолгор<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Монгол улс, Улаанбаатар, Эрчим Хүчний Зохицуулах Хороо

<sup>2</sup>Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Дулааны инженерийн салбар  
[chiinko@gmail.com](mailto:chiinko@gmail.com)

*Хураангуй*–Энэхүү өгүүлэлд орон сууцны, барилга байгууламжийг байнгын ашиглалтад хүлээн авахад эрчим хүчээр хангагч, хэрэглэгчийн харилцааг холбогдох хууль, хэм хэмжээний актуудын дагуу зохицуулах, тэдгээрийн эрх, үүргийг хангах асуудлыг авч үзсэн болно.

*Түлхүүр үг*–Барилга байгууламжийг байнгын ашиглалтад хүлээх авах, хангагч, хэрэглэгч, стандартын шаардлага хангасан эрчим хүч, эрчим хүчээр хангах гэрээ.

### I. ОРШИЛ

Сүүлийн жилүүдэд Улаанбаатар хотод орон сууцны барилга, байгууламжууд хурдацтай өсөн нэмэгдэж, тэдгээрийг стандартын шаардлага хангасан дулаан, цахилгааны эрчим хүчээр хангах нь Эрчим хүчний салбарт тулгамдсан асуудал болоод байгаа билээ. Үүнээс гадна хэрэглэгчдийг эрчим хүчээр хангах, үйлчилгээ үзүүлэх, шугам сүлжээний ашиглалтын үйл ажиллагааг мэргэжлийн байгууллага хариуцахтай холбоотой зохицуулалтын асуудлууд мөн адил тулгамдсан асуудлууд болоод байна.

### II. МОНГОЛ УЛСЫН ДУЛААНЫ ЭРЧИМ ХҮЧ ХЭРЭГЛЭГЧДИЙН ТОО

Үндэсний статистикийн хорооны 2021 оны хүн ам, орон сууцны тооллогын нэгдсэн дүнгээр Улаанбаатар хотод нийт хүн амын 46% буюу 1539810.0, мөн нийт өрхийн 45% буюу 411420 өрх амьдарч байгаагийн 22,2% нь монгол ард түмний уламжлалт сууц гэрт, 77,3% нь байшинд, 0,5% нь бусад төрлийн сууцанд амьдарч байна. Нэгдүгээр хүснэгтэд 2021 оны байдлаар Дулааны эрчим хүч хэрэглэгчдийн тоог харуулав.

#### 1-Р ХҮСНЭГТ. ДУЛААНЫ ЭРЧИМ ХҮЧ ХЭРЭГЛЭГЧДИЙН ТОО, 2021 ОНД

##### ДУЛААНЫ ЭРЧИМ ХҮЧ ХЭРЭГЛЭГЧДИЙН ТОО

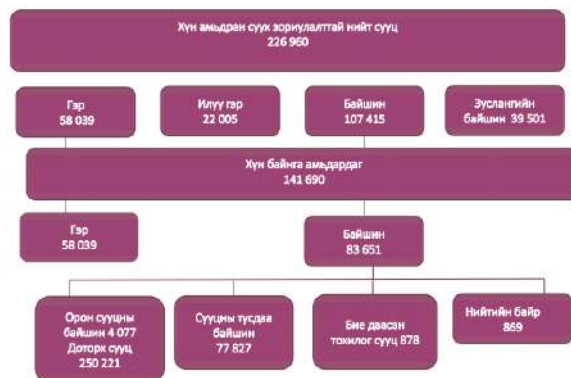
Үзүүлэлт	Айл өрх	ҮААНБ	НИЙТ
Улаанбаатар	250,033	18,049	268,082
Эрдэнэт	13,417	1,548	14,965
Дархан	14,150	1,658	15,808
Дорнод	7,660	678	8,338
Даланзадгад	1,243	280	1,523
Орон нутаг	57,923	7,363	65,286
<b>ДҮН</b>	<b>344,426</b>	<b>29,576</b>	<b>374,002</b>

Хүн байнга амьдардаг сууцыг төрлөөр авч үзвэл 41% нь гэр сууц, 54,9% нь сууцны тусдаа байшин, 2,9 % нь нийтийн

зориулалттай орон сууцны байшин, 0,6 % нь бие даасан тохилог сууц, 0,6% нийтийн байр тоологдсон байна. Нийтийн зориулалттай 4 077 орон сууцны байшинд 250 221 сууц тоологдсон байна.

Хоёрдугаар хүснэгтэд 2021 оны байдлаар хүн амьдран суух зориулалттай нийт сууц болон хүн байнга амьдардаг сууцны тоо, төрлөөр харуулав.

#### 2-Р ХҮСНЭГТ. ХҮН АМЬДРАН СУУХ ЗОРИУЛАЛТТАЙ НИЙТ СУУЦ БОЛОН ХҮН БАЙНГА АМЬДАРДАГ СУУЦНЫ ТОО, ТӨРЛӨӨР, 2021 ОН



Төвлөрсөн дулаан хангамжид холбогдсон томоохон хот, суурины дулааны эрчим хүчний хэрэглэгч /эрчим хүчээр хангах гэрээтэй/-ийн тоог өмнөх онтой харьцуулахад 95164 буюу 25,5%-иар өссөн ба үүнээс Улаанбаатар хотын айл өрхийн хувьд 25343 буюу 10,1%, аж ахуйн нэгж байгууллагын хэрэглэгчид 2091 буюу 11,5%-иар тус тус өссөн үзүүлэлттэй байна. Мөн нийт дулааны эрчим хүч хэрэглэгчдийн 268082 буюу 72% нь Улаанбаатар хотын хэрэглэгчид байдаг.

Улаанбаатар хотын дулааны хэрэглэгчдийн 50,2% буюу 134577 хэрэглэгчийг дулаан түгээх, хангах тусгай зөвшөөрөлтэй хувийн хэвшлийн 66 компани, 49,8% буюу 133504 хэрэглэгчийг Орон нутгийн өмчит аж ахуйн тооцоот үйлдвэрийн газрын харьяа Хэрэглэгчдэд үйлчлэх 16 төв хариуцан ажиллаж байна.



### Ш. БАРИЛГА БАЙГУУЛАМЖИЙГ АШИГЛАЛТАД ХҮЛЭЭН АВАХ АЖИЛЛАГАА, ХУУЛЬ ЭРХ ЗҮЙН ОРЧИН

Барилга байгууламжийг ашиглалтад оруулах үйл ажиллагааг Монгол Улсын Засгийн газрын 2018 оны 317 дугаар тогтоол “Барилга байгууламжийг ашиглалтад оруулах дүрэм”, Нийслэлийн иргэдийн Төлөөлөгчдийн Хурлын 2014 оны 04 дүгээр сарын 10-ны өдрийн 5/14 дүгээр тогтоол, Барилгын тухай хуулийн 48 дугаар зүйлийн 48.1, 35 дугаар зүйлийн 35.1.4, 35.1.6, “Нийслэлийн нутаг дэвсгэрт барилга барих ... , ашиглалтад оруулах үйл ажиллагааны журам”-ын дагуу *Аймаг, Нийслэлийн барилга, хот байгуулалтын асуудал эрхэлсэн байгууллага* хэрэгжүүлэхээр заасан байдаг.

Барилга байгууламжийг ашиглалтад оруулах комиссын бүрэлдэхүүн, нэгжийн дарга нь Аймаг, Нийслэлийн барилга, хот байгуулалтын асуудал эрхэлсэн байгууллага бөгөөд сүүлийн 5 жилийн дотор хариуцах байгууллагын үйл ажиллагаа, чиглэл, нэршлийн хувьд 3 удаа /“Нийслэлийн хот төлөвлөлт, ерөнхий төлөвлөгөөний газар”, “Хот байгуулалт хөгжлийн газар”, “Хотын стандарт, орчны аюулгүй байдлын хяналт, зохицуулалтын газар”/ өөрчлөгдсөн ба одоогоор барилга байгууламжийг ашиглалтад оруулах үндсэн үйл ажиллагааг “Хотын стандарт, орчны аюулгүй байдлын хяналт, зохицуулалтын газар”/ХСОАБХГ/ хариуцан, зохион байгуулж ажиллаж байгаа билээ.

Гуравдугаар хүснэгтэд барилгын салбарын үзүүлэлт, тодорхойлолтыг хүснэгтлэн харуулав.

3-Р ХҮСНЭГТ 3. БАРИЛГЫН САЛБАРЫН ҮЗҮҮЛЭЛТ, ТОДОРХОЙЛОЛТ

№	Үзүүлэлт	Тодорхойлолт
1.	Объект	Бие даасан барилга (орон сууц, үйлдвэрийн гол корпус, сургууль, цех, агууламж), байгууламж (зам, гүүр, далан, суваг, нүхэн гарц) түүнтэй холбогдож хийгдэх үндсэн ба туслах чанарын бусад байгууламж, гадна инженерийн бүх төрлийн шугам сүлжээ, хийн тоноглол, барилгын талбайд хийгдэх өндөржилт, тохижилт болон засварын бүх ажил
2.	Барилга, байгууламж	Орон сууц, иргэн, үйлдвэр, эрчим хүч, харилцаа холбоо, ус, нефтийн барилга, ус суваг, далан хаалт зэрэг байгууламж, түүний инженерийн шугам сүлжээ
3.	Барилга угсралт, их засварын ажил	Барилга, байшин барих болон инженерийн зориулалтаар зам, гүүр, далан зэрэг инженерийн бусад байгууламжийг барих хэлбэрээр үндсэн хөрөнгийг бий болгох, шинэчлэх, засварлах, өргөтгөхөд чиглэсэн үйл ажиллагаа
4.	Орон сууцны барилга	Хүн суурьшин амьдрах зориулалттай, хамгийн багадаа түүний тал хэсгийг нь орон сууцны зориулалтаар ашигладаг барилга, байгууламж
5.	Орон сууцны бус барилга	Хүн суурьшин амьдрахаас бусад олон төрлийн зориулалтаар баригдах үйлдвэр, худалдаа, үйлчилгээ, эмнэлэг, сургууль, соёлын болон бусад бүх төрлийн барилга, байгууламж
6.	Инженерийн барилга, байгууламж	Газар доор ба дээр техникийн зориулалттай барьсан зам гүүр, телевизийн шамхаг, өндөр хүчдэлийн, дулааны болон ус дамжуулах шугам, сүлжээ, барилга угсралтад ангилагддаггүй барилга, байгууламжийн бүх төрлийн ажил

Барилга байгууламж гэдэг нь Барилгын тухай хуулийн 4 дүгээр зүйлийн 4.1.1-д орон сууц, иргэн, үйлдвэр, **эрчим хүч**, харилцаа холбоо, ус, нефтийн барилга, ус суваг, далан хаалт зэрэг байгууламж **түүний инженерийн шугам сүлжээг** хэлнэ гэж заасан бөгөөд тухайн орон сууцны барилгын эрчим хүчний барилга байгууламж, инженерийн шугам сүлжээ, тоног төхөөрөмжийг ашиглалтад хүлээж авах дүгнэлтийг гаргасны дараа Орон сууцыг байнгын ашиглалтад хүлээж авч байгаа ч улсын

комиссын актад орон сууцны ашиглалт үйлчилгээг хариуцах мэргэжлийн байгууллагыг ямар үндэслэлээр хэрхэн зааж өгч байгаад хяналт зохицуулалт одоогоор байхгүй байна.

Барилга, байгууламжийг байнгын ашиглалтад хүлээн авахтай зэрэгцээд тухайн орон сууцны барилгын шугам сүлжээ, дэд станц, тоног төхөөрөмжийн ашиглалт, үйлчилгээг тусгай зөвшөөрөлтэй мэргэжлийн байгууллага хариуцах асуудал орхигдож барилгын захиалагч, гүйцэтгэгч компани нь үзэмжээрээ, танилын хүрээнд, хэн дуртай тусгай зөвшөөрөл эзэмшигч байгууллагад ашиглалтыг шилжүүлэх, барилгын угсралтын компани орон сууцны ашиглалтын үйл ажиллагааг барилгын ашиглалтад зүгшрүүлэх, тохируулгын 1 жил, барилга байгууламжийн 3 жилийн хугацаанд хариуцах зэргээс хамаарч дараах зөрчил, дутагдлууд үүсэж байна. Үүнд:

1. Холбогдох тусгай зөвшөөрөлгүйгээр орон сууцны ашиглалтын үйл ажиллагаа явуулах,
2. Хэрэглэгчид стандартын шаардлагад нийцсэн, найдвартай эрчим хүчээр хангагдахгүй байх,
3. Хэрэглэгчээс илүү төлбөр нэхэмжлэх,
4. Хэрэглэгч түргэн шуурхай, чанартай үйлчилгээ авч чадахгүй байх,
5. Орон сууцны шугам сүлжээ, ашиглалтыг тухайн хувийн хэвшлийн орон сууцны компанийн үйлчлэх хүрээндээ хасуулах, орон нутгийн өмчит үйлдвэрийн газарт шилжүүлэх,
6. Өмч хөрөнгийн маргаан, өр төлбөр үүсэх, эрчим хүчний салбарын авлагын хэмжээ өсөх,
7. Орон сууцны шугам сүлжээ, тоног төхөөрөмжийн ашиглалтын шаардлага хангахгүй болсон үед эзэнгүй орших,
8. Барилга байгууламжийн зүгшрүүлэх, тохируулах, тоног төхөөрөмжийн хэвийн ашиглалтын хугацаанд орон нутгийн хөрөнгөөр засвар үйлчилгээ хийх,
9. Дэд станц, шугам тоноглол, орон сууцны ашиглалт үйлчилгээг бусдад дураараа шилжүүлэх, барилгын компаниудтай тохиролцон бусад хэрэглэгчдийг хууль бусаар авах, өмч хөрөнгийн талаар маргаан үүсгэх, хэрэглэгчийн хууль ёсны эрх ашиг хөндөгдөх зэрэг, асуудлууд ихсэх нөхцөл бүрдээд байна.

Дээрх асуудлууд нь анх тухайн Барилга байгууламжийг ашиглалтад оруулах комиссын акт, дүгнэлтэд ашиглагч байгууллага гэдэгт захиалагч буюу хөрөнгө оруулагчийг бичих, эрх бүхий байгууллагын тусгай зөвшөөрөлгүй хуулийн этгээдийг бичих, мөн ихэнхдээ ашиглагч байгууллагаар “Орон сууц нийтийн аж ахуйн удирдах газар”-ыг зааж тус газраас гарын үсэг зурж хүлээн авсан ч орон сууцны

ашиглалтыг хариуцдаггүйтэй холбоотой бөгөөд цаашид Эрчим хүчний тухай хуулийн 30 дугаар зүйлийн 30.1.13-т “нийтийн эзэмшлийн орон сууцны барилга барьсан тохиолдолд эрчим хүчний дэд станц, шугам тоноглолыг тусгай зөвшөөрөл эзэмшигчид шилжүүлэх” гэж заасны дагуу уг хуулийн 12 дугаар зүйлийн 12.1-д заасан тусгай зөвшөөрөл эзэмшигч хуулийн этгээдэд тухайн барилгын захиалагч, гүйцэтгэгч нь холбогдох акт, гэрээний дагуу эрчим хүчний шугам сүлжээ, тоног төхөөрөмжийг шилжүүлэх тухай хуулийн заалтыг хэрэгжүүлээгүй, барилга байгууламжийг ашиглалтад оруулах комиссын актад орон сууцны ашиглалтыг хариуцах мэргэжлийн байгууллагыг тодорхой, оновчтой зааж өгөөгүйтэй холбоотой юм. Мөн Барилга байгууламжийг ашиглалтад оруулах дүрэм Засгийн газрын 2021 оны 07-р сарын 20-ны өдрийн 212-р тогтоолоор шинэчлэн батлагдсантай холбоотойгоор барилга байгууламж (орон сууц, үйлчилгээний зориулалттай барилга, эрчим хүчний барилга байгууламж)-ийг ашиглалтад авах үйл ажиллагаа болон түүнд ажиллах инженер хангамжийн байгууллагын төлөөлөл нь Эрчим хүчний тухай хуулийн холбогдох заалтуудыг хэрэгжүүлэх, эрчим хүчний барилга байгууламжид хяналт тавих, эрчим хүчний салбарыг төлөөлж хариуцлагатай, тодорхой арга хэмжээнүүдийг авч ажиллах шаардлагатай юм.

#### IV. ХУУЛЬ ЭРХ ЗҮЙН ОРЧИН

##### **Аж ахуйн тусгай зөвшөөрлийн тухай хууль:**

*15 дугаар зүйл. Тусгай зөвшөөрөлтэйгөөр эрхлэх аж ахуйн үйл ажиллагааны төрөл*

15.1. Энэ зүйлд заасан үйл ажиллагааг тусгай зөвшөөрөлтэйгөөр эрхэлнэ.

15.8.3. Эрчим хүч үйлдвэрлэх, дамжуулах, диспетчерийн зохицуулалт хийх, түгээх, хангах, борлуулах үйл ажиллагаа эрхлэх;

*5 дугаар зүйл. Тусгай зөвшөөрлийн үйлчлэх хүрээ*

5.1 Тусгай зөвшөөрөл шаардах аж ахуйн үйл ажиллагааг хэрэв тусгайлан заасан бол тухайн нутаг дэвсгэрт явуулна”

##### **Эрчим хүчний тухай хууль:**

*12 дугаар зүйл. Үйл ажиллагаа эрхлэх тусгай зөвшөөрөл, түүнийг олгох;*

12.1. Хуулийн этгээд дараах үйл ажиллагааг эрх бүхий байгууллагаас олгосон тусгай зөвшөөрлийн үндсэн дээр эрхэлнэ:

12.1.6. цахилгаан түгээх;

12.1.7. дулаан түгээх;

12.1.8. эрчим хүчээр зохицуулалттай хангах;

*30 дугаар зүйл. Хэрэглэгчийн эрх, үүрэг*

30.1.13. нийтийн эзэмшлийн орон сууцны барилга барих тохиолдолд барьсан эрчим хүчний дэд станц, шугам, тоноглолыг тусгай зөвшөөрөл эзэмшигчид шилжүүлэх.

##### **Барилгын тухай хууль:**

48.2 Барилга байгууламжийг барилгын ажлын явцад шаардагдах цахилгаан, дулаан, халуун, хүйтэн усаар түр хангах бөгөөд байнгын ашиглалтад оруулаагүй барилга байгууламжийг цахилгаан, харилцаа холбоо, дулаан, халуун, хүйтэн усаар хангахыг хориглоно.

48.3 Гэрчилгээ олгогдоогүй, дуусаагүй барилга байгууламжид үйл ажиллагаа эрхлэхийг хориглоно.

48.5.5. Барилга байгууламжийн инженерийн шугам сүлжээний холболтыг техникийн нөхцөлийн дагуу гүйцэтгэсэн, эсхүл өөр эх үүсвэр ашигласныг баталгаажуулсан тэмдэглэл, холбогдох мэдээлэл;

*14 дүгээр зүйл. Барилга байгууламжид тавих шаардлага*

14.3. Барилга байгууламжийг ашиглалтад зүгшрүүлэх, тохируулах хугацаа **нэг жил** байна.

14.4. Энэ хуулийн 14.3-т заасан хугацаа дуусгавар болсон тохиолдолд гүйцэтгэгч, зураг төсөл зохиогч, захиалагч болон ашиглагч тухайн барилга байгууламжид хамтарсан үзлэг хийж зөрчлийг арилгах талаар тэмдэглэл үйлдэнэ.

14.6. Энэ хуулийн 14.3-т заасан хугацаа дуусгавар болсноос хойш барилга байгууламжийн ... уур, хий, дулаан, цахилгаан харилцаа холбооны тоног төхөөрөмж, тоноглолын хэвийн ашиглалтын хугацаа гурваас доошгүй жил байна.

#### V. БОДЛОГЫН ТҮВШИНД ЦААШИД АВЧ ХЭРЭГЖҮҮЛЭХ АРГА ХЭМЖЭЭ

■ Эрчим хүчний зохицуулах хороо нь шинээр баригдаж, ашиглалтад орж байгаа нийтийн орон сууцны барилгын ашиглалт хариуцах тусгай зөвшөөрөл эзэмшигчийг “Хот, суурины ус хангамж, ариутгах татуургын ашиглалт үйлчилгээг зохицуулах зөвлөл”, инженер хангамжийн байгууллагын төлөөлөл буюу “Улаанбаатар цахилгаан түгээх сүлжээ” ТӨХК, “Улаанбаатар дулааны сүлжээ” ТӨХК-тай хамтран барилга байгууламжийг ашиглалтад хүлээж авахад ашиглагч байгууллагыг тодорхойлж оролцуулах; /*тухайн барилгын захиалагч, гүйцэтгэгч компанитай зөвшилцөж, барилгын техникийн нөхцөл болон холбогдсон шугам сүлжээ, дэд төвийн өмчлөлийн байдал, эрчим хүчний нэгдмэл байдал зэрэгтэй уялдуулан ашиглагч байгууллагыг сонгон шалгаруулах, тодруулга гаргах.*/

■ Цахилгаан, дулаан түгээх, зохицуулалттай хангах тусгай зөвшөөрөл эзэмшигч нь Эрчим хүчний тухай хууль 30 дугаар зүйлийн 30.1.13, “Барилга байгууламжийг ашиглалтад оруулах дүрэм”-ийн 7 дугаар зүйлийн 7.6, “Дулааны эрчим хүч хэрэглэх дүрэм”-ийн 5 дугаар зүйлийн 5.1.1, 5.1.18, Барилгын тухай хуулийн 48 дугаар зүйлийн 48.2-д тус тус заасны дагуу барилга байгууламжийг ашиглалтад хүлээн авах хүртэл барилгын

захиалагч иргэн, хуулийн этгээдтэй дулааны эрчим хүчээр хангах түр гэрээ (*барилга угсралт болон заслын үед дулаан, цахилгааны эрчим хүчээр хангах*) байгуулах,

- Барилга байгууламжийг ашиглалтад оруулах комиссын дүгнэлтэд инженер хангамжийн байгууллагын төлөөлөл /“Улаанбаатар цахилгаан түгээх сүлжээ” ТӨХК, “Улаанбаатар дулааны сүлжээ” ТӨХК/ нь ашиглагч мэргэжлийн байгууллагад шилжүүлж, хариуцуулсан тохиолдолд тухайн барилга байгууламжийг дулаан, цахилгаан эрчим хүчээр хангах талаар үүрэг даалгаврын биелэлтэд тусгах, техникийн нөхцөл, шугам сүлжээний эзэмшлийн зааг, өмч хөрөнгөөс хамааруулан дулаан түгээх, хангах гэрээг тусгай зөвшөөрөл эзэмшигчид шилжүүлж, хариуцуулж байх,
- Тусгай зөвшөөрөл эзэмшигч мэргэжлийн байгууллагууд нь барилга байгууламжийг ашиглалтад оруулах дүгнэлт баталгаажсан тохиолдолд өмчийн эздийг төлөөлөх эрхгүй иргэн, хуулийн этгээдтэй цахилгаан, дулааны эрчим хүчээр хангах гэрээ байгуулахгүй байх.
- Дулаан түгээх, дулаанаар зохицуулалттай хангах тусгай зөвшөөрөл эзэмшигч хувийн хэвшлийн компаниудын үйлчлэх хүрээнд хамаарах орон сууцны байруудыг ус, дулаан дамжуулах төв, шугам сүлжээний өмчлөл, хүчин чадал, газар зүйн байршил, харьяа дүүргээр ангилж цэгцлэх зэрэг нэгдсэн арга хэмжээг авч шийдвэрлэх;
- Холбогдох байгууллагууд /Эрчим хүчний зохицуулах хороо, Барилга хот байгуулалтын яам, “Хотын стандарт, орчны аюулгүй байдлын хяналт, зохицуулалтын газар”/-ын уялдаа холбоог сайжруулах, энэ талаар Нийслэлийн харьяа холбогдох байгууллагуудтай хамтран ажиллах, бодлогын арга хэмжээг зайлшгүй авах;
- Барилгын тухай хуулийн 14 дүгээр зүйлийн 14.3, 14.6-р заалтын дагуу Барилга байгууламжийг ашиглалтад зүгшрүүлэх, тохируулах хугацаа нэг жил, тоноглолын хэвийн ашиглалтын хугацаа гурваас доошгүй жил байна гэж тус тус зааны дагуу захиалагч, зураг төсөл зохиогч, гүйцэтгэгч, материал ханган нийлүүлэгч, өмчлөгч, ашиглагч нар акт үйлдэж баталгаажуулан, баримтжуулах;
- Харьяаллын дагуу орон нутгийн өмчит тооцоот үйлдвэрийн газрын өмчлөлд үнэ төлбөргүй шилжин ирж байгаа орон сууцнуудыг Нийслэлийн өмчид үнэ төлбөргүйгээр бүртгэх, ашиглалт үйлчилгээг авах ажиллагааг боловсронгуй, түргэн шуурхай болгох зэрэг арга хэмжээнүүдийг авах.

## VI. ДҮГНЭЛТ

Дээрх арга хэмжээнүүдийг авч хэрэгжүүлснээр гарах үр дүн нь барилгын гүйцэтгэгч, захиалагч, орон сууцны ашиглалт, тоног төхөөрөмжийг мэргэжлийн байгууллагад шилжүүлж, хариуцуулаагүйгээс үүсэх, эрчим хүчний өр төлбөр, өмчийн маргаан, орон сууцны барилгын ашиглалт үйлчилгээг бусдад шилжүүлэх, хэрэглэгч илүү төлбөр төлөх, стандартын шаардлага хангасан эрчим хүчээр хангагдахгүй байх, түргэн шуурхай чанартай үйлчилгээ авч чадахгүй байх зэрэг асуудлууд арилж төрийн байгууллагуудын уялдаа холбоо сайжирч хэрэглэгчийн гомдол, санал багасаж эрчим хүчээр хангагч, хэрэглэгчийн харилцаа, тусгай зөвшөөрлийн үйл ажиллагаа бодлогын түвшинд цогцоор шийдвэрлэгдэж хяналт, зохицуулалтын үйл ажиллагаа сайжирна гэж үзэж байна.

## VII. НОМ ЗҮЙ

- [1] Эрчим хүчний зохицуулах хорооны статистик үзүүлэлтүүд
- [2] Хүн ам, орон сууцны улсын тооллогын нэгдсэн дүн
- [3] Эрчим хүчний тухай хууль
- [4] Барилгын тухай хууль
- [5] Засгийн газрын 2021 оны 07-р сарын 20-ны өдрийн 212 дугаар тогтоол “Барилга байгууламжийг ашиглалтад оруулах дүрэм”
- [6] Эрчим хүчний сайдын 2019 оны 05 дугаар сарын 01-ний өдрийн 125 дугаар тушаал “Эрчим хүчний барилга байгууламж барих ажлын журам”, холбогдох актууд

## ЦДҮС ТӨХК-ИЙН ГОВИЙН БҮСИЙН ЭХС-ЭЭС ОЮУТОЛГОЙ УУРХАЙГ ЭРЧИМ ХҮЧЭЭР ХАНГАХ СУДАЛГАА

Цэдэнбалын Чимэддулам<sup>1</sup>, Шагдарсүрэнгийн Гантөмөр<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Цахилгааны инженерийн салбар  
[Tschimeddulam0718@gmail.com](mailto:Tschimeddulam0718@gmail.com)

Хураангуй–Манай улсын хувьд Өмнийн говьд уул уурхай бий болж үйлдвэрлэл бүтээн байгуулалт хийгдэж эхэлсэнтэй холбоотойгоор Говийн бүсийн эрчим хүчний систем байгуулагдаад 10 жил болж байна. Энэ хугацаанд 220 кВ-ын 4 дэд станц, 110 кВ-ын 2 дэд станц 220 кВ-ын км шугам, 110 кВ-ын км шугам баригдаж ашиглалтанд орсон байна. Гэсэн хэдий ч Нарийн сухайт, Овоот толгой, Тавантолгой, Оюутолгой, Цагаансуварга, Шивээ-Овоогийн ордуудыг цахилгаан эрчим хүчээр тэжээх нөөц боломж муу байсаар байна. ЭХЯ эдгээр орд газруудыг дотоодын эрчим хүчний системээс хангах зорилт тавьж шат дараатай үйл ажиллагаа явуулж байгаагийн нэг нь Оюутолгой уурхайн цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээг Монгол улсын нэгдсэн сүлжээнээс хангах явдал юм. Энэ төслийн дагуу 450 МВА-ийн хүчин чадалтай Тавантолгой ДЦС барих ашиглалтанд оруулах, горим тооцоог хийх, чанарын шаардлага хангасан ЭХ-ээр тасралтгүй найдвартай хангах явдал юм.

*Түлхүүр үг–Горимын тооцоо, Оюутолгой уурхай, Цагаансуварга уурхай, Тавантолгой ДЦС, Power Factory, хүчдэлийн хазайлт.*

### ГОРШИЛ

ЦДҮС ТӨХК-н ГБСалбар 2013 оны 1-р сарын 29-нд 110 кВ Мандалговь АШ-аар анх хүчдэлд залгагдсан. Тус салбар нь Нэгдсэн сүлжээ болон Ухаахудаг ЦС, Цэций нарны цахилгаан станц, Даланзадгад ДЦС-ын үйлдвэрлэсэн цахилгаан эрчим хүчийг Өмнөговь, Дундговь аймгийн нутаг дэвсгэрийн хэрэглэгчдэд дамжуулах үүргийг гүйцэтгэдэг. Салбарын эрчим хүчний шинэ эх үүсвэр Тавантолгой ДЦС нь Тавантолгой нүүрсний уурхайтай залгаа байрлах бөгөөд Өмнөговь аймгийн Цогтцэций сумын төвөөс урагш 6 км зайд, Өмнөговь аймгийн төв Даланзадгадаас зүүн зүгт 100 км зайд, Хятадын хилээс хойд зүгт 230 км зайд, Оюутолгойн зэс алтны ордоос ойролцоогоор 130 км зайд байрлана. [8]



1-р зураг. Тавантолгой ДЦС-н байршил

Говийн бүсийн салбар нь шинэ салбар бөгөөд эрдэм шинжилгээ, судалгааны ажил бага хийгдсэн. Энэ судалгааны ажлын хүрээнд:

1. 2021 оны 12-р сарын 15-ны 18:00 цагийн өвлийн их ачаалалын хэмжилтийн

утгаар Power Factory программаар горимын тооцоо хийсэн.

2. Одоо байгаа ЭХС-ийг нөөц эх үүсвэртэй гэж үзэн Оюутолгой төслийг тэжээх чадлын алдагдал хамгийн бага байх горимыг тооцоолсон.
3. Тавантолгой ДЦС ашиглалтанд орсон үед Тавантолгой дэд станцаар дамжуулж тэжээх.
4. Тавантолгой ДЦС-аас шууд Оюутолгой уурхайг тэжээх үеийн горим тооцоо.
5. Тавантолгой ДЦС-аас кольцио схемээр тэжээх.
6. Оюутолгой, Цагаансуварга уурхайг зэрэг тэжээх боломжтой эсэх талаар тооцоо судалгаа хийсэн.

### Ц.ГОВИЙН БҮСИЙН ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ СИСТЕМИЙН ГОРИМЫН ТООЦОО.

Цахилгаан шугам сүлжээний горим нь шугамын гүйдэл, зангилааны хүчдэл, хүчдэлийн уналт ба хүчдлийн алдагдал, шугам болон трансформаторын эхлэл төгсгөлөөр дамжих чадал, чадлын алдагдал зэрэг олон тооны параметруудээр тодорхойлогддог. Горимын тооцоог гүйцэтгэх гэдэг нь анхдагч өгөгдлийг бүрдүүлэх, математик загварыг байгуулах, байгуулсан математик загварыг бодох, гарсан үр дүнд үнэлгээ, шинжилгээ хийх гэсэн үе шатуудаас тогтдог. [2]

220/110/35 кВ Мандал дэд станц дээр 220 кВ-ын тус бүр 30МВар-ын 2 реактор, 220/110/35/10 кВ Тавантолгой дэд станц дээр Статик Вар Конденсатор байрлуулсан бөгөөд Тавантолгой дэд станцын 220 кВ-ын шинийн хүчдэлийг 232 кВ байхаар барьж ажилладаг.

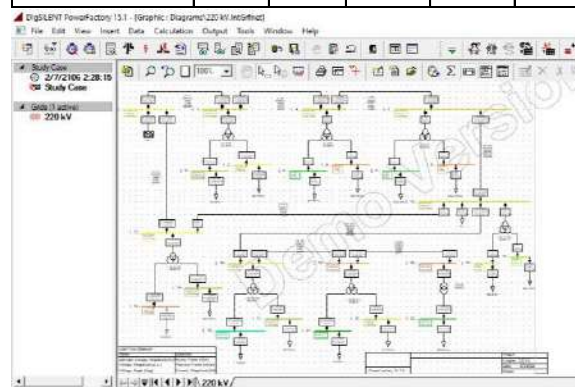
ОЮУТНЫ ЭРДЭМ ШИНЖИЛГЭЭНИЙ БҮТЭЭЛИЙН ЭМХЭТГЭЛ – 2022

2021-12-15-ны 18:00 цагийн өвлийн их ачаалалын хэмжилтийн үед Ухаахудаг цахилгаан станц болон Цэций салхин цахилгаан станцаас Нэгдсэн сүлжээ рүү 45 МВт-н чадлын урсгалтай байсан байна. Өвлийн их ачаалалын горимоор 205, 206, 211, 212-р АШ-ууд зэрэгцээ ажиллагаанд Улаанбаатар дэд станц дээр АТ-1, АТ-2, Тавантолгой дэд станц дээр АТ-1, АТ-2 зэрэгцээ ажиллагаанд бусад станцууд дээр АТ-2-ууд ажиллагаанд байсан. Гадна агаарын температур -25°C

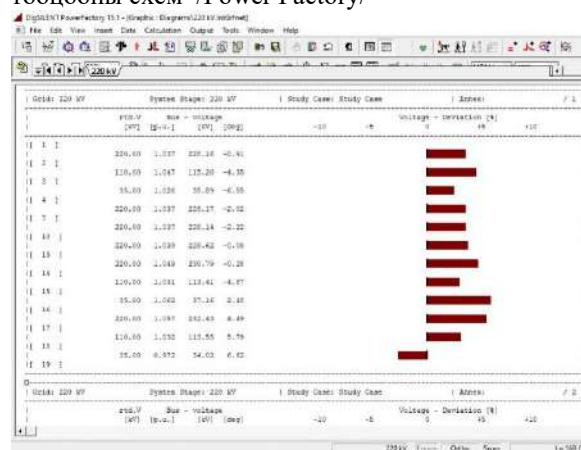
**1-Р ХҮСНЭГТ. ГБСАЛБАРЫН ӨВЛИЙН ИХ АЧААЛАЛЫН ХЭМЖИЛТ.**

Шугам, трансформатор	I [А]	U [кВ]	P [кВт]	Q [кВар]	cosφ
<b>220/110/35 кВ Сонгино дэд станцын хэмжилт</b>					
211-р АШ	180	223	-69432	20592	-0.95
212-р АШ	180	223	-67320	24552	-0.93
214-р АШ	72	223	-6600	-30360	-0.17
АТ-2	216	223	79200	38808	0.89
<b>220/110/35 кВ Улаанбаатар дэд станцын хэмжилт</b>					
205-р АШ	204	221	71016	34848	0.9
206-р АШ	204	221	71544	34848	0.9
210-р АШ	60	221	14784	21384	0.52
АТ-1	204	221	65208	45936	0.81
АТ-2	204	221	65076	45276	0.81
<b>220/110/35 кВ Багануур дэд станцын хэмжилт</b>					
210-р АШ	40	223	-14652	-7348	0.89
207-р АШ	60	223	660	-25542	0.025
АТ-2	84	223	12990	17900	0.58
<b>220/110/35 кВ Чойр дэд станцын хэмжилт</b>					
207-р АШ	2	217.5	594	-594	0.7
225-р АШ	60	216.5	-24090	-4950	0.97
АТ-2	60	227	25674	4752	0.98
<b>220/110/35 кВ Мандал дэд станцын хэмжилт</b>					
214-р АШ	32	226	7303	7700	0.33
216-р АШ	112	226	-39776	22528	0.86
225-р АШ	64	226	25555	19148	0.8

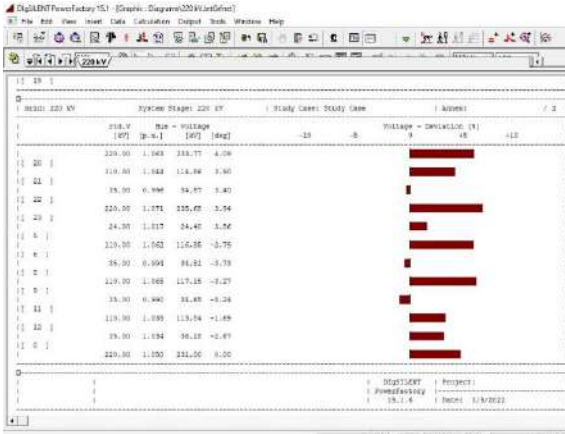
АТ-2	10	226	6820	660	0.99
Р-1	70	226	0	27940	0
Р-2	70	226	0	27940	0
<b>220/110/35/10 кВ Тавантолгой дэд станцын хэмжилт</b>					
216-р АШ	96	231	40180	-11088	0.96
218-р АШ	12	231	5346	-3696	0.8
АТ-1	108	231	45427	1320	0.99
АТ-2	36	231	264	15840	0.02
35 кВ СВК-2 Р-1	720	34.7	168	44604	0
<b>220/110/35 кВ Оюутолгой дэд станцын хэмжилт</b>					
218-р АШ	36	231	-5227	-16896	0.3
221-р АШ	12	231	1100	16400	0.19
АТ-2	48	231	4144	21912	0.19
<b>220/110/35 кВ Цагаансуварга дэд станцын хэмжилт</b>					
221-р АШ	12	235	1056	5016	0.2
АТ-2	10	235	1056	5016	0.2



2-р зураг. Говийн бүсийн ЭХС-ийн горимын тооцооны схем /Power Factory/



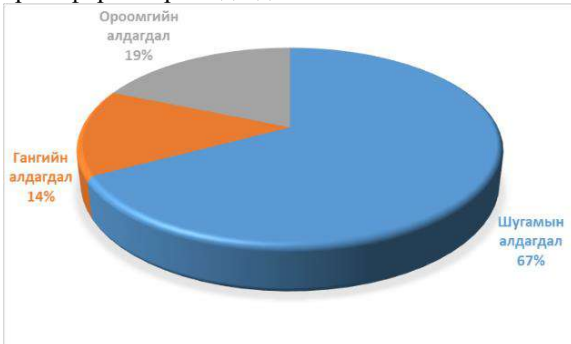
3.1-р зураг. Говийн бүсийн ЭХС-ийн хүчдэлийн хазайлт /Power Factory/



3.2-р зураг. Говийн бүсийн ЭХС-ийн хүчдэлийн хазайлт /Power Factory/  
2-Р ХҮСНЭГТ. ГБСАЛБАРЫН ЧАДЛЫН АЛДАГДАЛ

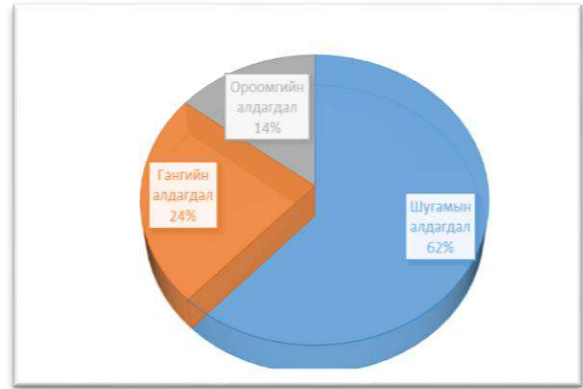
№	Уном [кВ]	Параметр	Алдагдал	
			МВт	%
1	220	Шугамын алдагдал	2.097	0.94
		Гангийн алдагдал	0.447	0.2
		Ороомгийн алдагдал	0.583	0.26
		Нийт	3.127	1.4

Нийт дамжсан чадал 222,504 МВт бөгөөд 3,127 МВт буюу 1,4 % нь шугам, трансформаторт алдагдаж байна.



4-р зураг. Чадлын алдагдлын бүтэц  
3-Р ХҮСНЭГТ. ГБСАЛБАРЫН ЭРЧМИЙН АЛДАГДАЛ

№	Уном [кВ]	Параметр	Алдагдал	
			кВт.цаг	%
1	220	Шугамын алдагдал	7455000	61.882
		Гангийн алдагдал	2842000	23.591
		Ороомгийн алдагдал	1750000	14.526
		Нийт	12047000	0.765



5-р зураг. Эрчмийн алдагдлын бүтэц

### III. ОДОО АЖИЛЛАЖ БАЙГАА ЭХС-ИЙГ НӨӨЦ ЭХ ҮҮСВЭРТЭЙ ГЭЖ ҮЗЭН ОЮУТОЛГОЙ УУРХАЙГ ТЭЖЭЭХ ЧАДЛЫН АЛДАГДАЛ ХАМГИЙН БАГА БАЙХ ГОРИМЫГ ТООЦОО

#### 4-Р ХҮСНЭГТ. ОЮУТОЛГОЙ УУРХАЙ 50 МВТ АВАХ ҮЕИЙН СХЕМ, ЧАДЛЫН АЛДАГДАЛ.

Шугам, реакторуд	Оюутолгой уурхайн авах ачаалал P [МВт]					
	50					
Багануур	P-1 (20MVar)	+		+	+	+
	P-2 (20MVar)					
Чойр	P-1 (20MVar)	+	+	+	+	+
	P-2 (20MVar)					
Мандал	P-1 (30MVar)	+	+	+	+	+
	P-2 (30MVar)					
Тавантолгой	SVC-1		25 MVar	10 MVar	10 MVar	30 MVar
	SVC-2					10 MVar
Оюутолгой	P-1 (20MVar)	+		+	+	+
	P-2 (20MVar)					
ТЭЦ-Улаанбаатар	205	+	+	+	+	+
	206	+	+	+	+	+
Улаанбаатар-Багануур	209					
	210	+	+	+	+	+
Багануур-Чойр	207	+	+	+	+	+
	208	+	+	+	+	+
Чойр-Мандал	225	+	+	+	+	+
	211	+	+	+	+	+
ТЭЦ-Сонгино	212	+	+	+	+	+
	213					
Сонгино-Мандал	214	+	+	+	+	+
	215					+
Мандал-Тавантолгой	216	+	+	+	+	+
	217			+	+	+
Тавантолгой-Оюутолгой	218	+	+	+	+	+
	221					
Оюутолгой-Цагаансувгар	222	+	+	+	+	+
	219				+	+
Оюутолгой-Оюутолгой уурхай	220	+	+	+	+	+
	Хүчдлийн хазайлт	ΔU= max%	5.8%	6.5%	5.0%	5.0%
Load	P [MW]	264.01	264.01	264.01	264.01	264.01
	Q [MVar]	243.89	228.89	228.89	228.89	303.89
Losses	Total losses P [MW]	3.64	3.54	3.1	3.1	3.26
	Load losses P [MW]	2.19	2.06	1.7	1.7	1.72
	No load losses P [MW]	1.45	1.48	1.4	1.4	1.54

Нийт 6 итераци хийснээс IV итераци чадлын алдагдал хамгийн бага байна. Схемийн хувьд Багануур, Чойр, Оюутолгой дэд станцуудад 20 МВар-ын нэг, нэг реактор, Мандал дэд станцад 30 МВар-н 2 реактор, Тавантолгой дэд станцад SVC-1 10 МВар ачаалал авч 217, 218, 219, 220-р АШ-уудыг зэрэгцээ залгасан байна.

5-Р ХҮСНЭГТ. ОЮУТОЛГОЙ УУРХАЙ 100  
МВТ АВАХ ҮЕИЙН СХЕМ, ЧАДЛЫН  
АЛДАГДАЛ

Шугам, реакторууд		Оюутолгой уурхайн авах ачаалал P [MW]						
		100						
Багануур	P-1 (20Mвар)	+	+	+	+	+	+	+
	P-2 (20Mвар)							
Чойр	P-1 (20Mвар)	+	+	+	+	+	+	+
	P-2 (20Mвар)							
Мандал	P-1 (30Mвар)	+	+	+	+	+	+	+
	P-2 (30Mвар)							
Тавантолгой	SVC-1	5 Mvar	20 Mvar	20 Mvar	20 Mvar	30 Mvar	30 Mvar	
	SVC-2							
Оюутолгой	P-1 (20Mвар)							
	P-2 (20Mвар)							
ТЭЦ-Улаанбаатар	205	+	+	+	+	+	+	+
	206	+	+	+	+	+	+	+
Улаанбаатар-Багануур	209							
	210	+	+	+	+	+	+	+
Багануур-Чойр	207	+	+	+	+	+	+	+
Чойр-Мандал	225	+	+	+	+	+	+	+
ТЭЦ-Сонгино	211	+	+	+	+	+	+	+
	212	+	+	+	+	+	+	+
Сонгино-Мандал	213							
	214	+	+	+	+	+	+	+
Мандал-Тавантолгой	215							
	216	+	+	+	+	+	+	+
Тавантолгой-Оюутолгой	217							
	218	+	+	+	+	+	+	+
Оюутолгой-Цагаансуварга	221							
	222	+	+	+	+	+	+	+
Оюутолгой-Оюутолгой	219							
	220	+	+	+	+	+	+	+
Хүчдлийн хазайлт	ΔU%=max	5.6%	5.0%	5.0%	5.7%	6.3%	5.1%	
Load	P [MW]	315.67	315.67	315.67	315.67	315.67	315.67	315.67
	Q [Mvar]	214.58	259.58	265.44	305.44	315.44	315.44	315.44
Losses	Total losses P [MW]	8.2	7.03	7.04	6.37	5.6	5.54	
	Load losses P [MW]	6.76	5.66	5.67	4.9	4.1	4.07	
	No load losses P [MW]	1.45	1.37	1.36	1.47	1.51	1.47	

Системийн дамжих чадал 315,67 МВт, уурхайн ачаалал 100 МВт байх үед шугамын алдагдал 5,5 МВт буюу 1,75 % байна. Энэ үеийн схем горим : Багануур, Оюутолгой дэд станцуудад 20 МВар-ын нэг, нэг реактор, Чойр дэд станцад 20 МВар-н 2 реактор зэрэгцээ, Мандал дэд станцад 30 МВар-н 2 реактор, Тавантолгой дэд станцад SVC-1 30 МВар ачаалал авч 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220-р АШ-уудыг зэрэгцээ залгасан байна. Чадлын алдагдал 5,54 МВт буюу 1,75% байна.

6-Р ХҮСНЭГТ. ОЮУТОЛГОЙ УУРХАЙ 150  
МВТ АВАХ ҮЕИЙН СХЕМ, ЧАДЛЫН  
АЛДАГДАЛ

Шугам, реакторууд		Оюутолгой уурхайн авах ачаалал P [MW]						
		100						
Багануур	P-1 (20Mвар)	+	+	+	+	+	+	+
	P-2 (20Mвар)							
Чойр	P-1 (20Mвар)	+	+	+	+	+	+	+
	P-2 (20Mвар)							
Мандал	P-1 (30Mвар)	+	+	+	+	+	+	+
	P-2 (30Mвар)							
Тавантолгой	SVC-1	5 Mvar	20 Mvar	20 Mvar	20 Mvar	30 Mvar	30 Mvar	
	SVC-2							
Оюутолгой	P-1 (20Mвар)							
	P-2 (20Mвар)							
ТЭЦ-Улаанбаатар	205	+	+	+	+	+	+	+
	206	+	+	+	+	+	+	+
Улаанбаатар-Багануур	209							
	210	+	+	+	+	+	+	+
Багануур-Чойр	207	+	+	+	+	+	+	+
Чойр-Мандал	225	+	+	+	+	+	+	+
ТЭЦ-Сонгино	211	+	+	+	+	+	+	+
	212	+	+	+	+	+	+	+
Сонгино-Мандал	213							
	214	+	+	+	+	+	+	+

Мандал-Тавантолгой	215							
	216	+	+	+	+	+	+	+
Тавантолгой-Оюутолгой	217							
	218	+	+	+	+	+	+	+
Оюутолгой-Цагаансуварга	221							
	222	+	+	+	+	+	+	+
Оюутолгой-Оюутолгой	219							
	220	+	+	+	+	+	+	+
Хүчдлийн хазайлт	ΔU%=max	5.6%	5.0%	5.0%	5.7%	6.3%	5.1%	
Load	P [MW]	315.67	315.67	315.67	315.67	315.67	315.67	315.67
	Q [Mvar]	214.58	259.58	265.44	305.44	315.44	315.44	315.44
Losses	Total losses P [MW]	8.2	7.03	7.04	6.37	5.6	5.54	
	Load losses P [MW]	6.76	5.66	5.67	4.9	4.1	4.07	
	No load losses P [MW]	1.45	1.37	1.36	1.47	1.51	1.47	

150 МВт ачаалалтай, шугамын чадлын алдагдал хамгийн бага байх үеийн схем: Багануур, Чойр, Оюутолгой дэд станцуудад 20 МВар-ын нэг, нэг реактор, Мандал дэд станцад 30 МВар-н 2 реактор, залгаатай SVC тасархай. 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220-р АШ-уудыг зэрэгцээ залгасан байна.

7-Р ХҮСНЭГТ. ОЮУТОЛГОЙ УУРХАЙ 200  
МВТ АВАХ ҮЕИЙН СХЕМ, ЧАДЛЫН  
АЛДАГДАЛ

Шугам, реакторууд		Оюутолгой уурхайн авах ачаалал P [MW]						
		200						
Багануур	P-1 (20Mвар)							
	P-2 (20Mвар)							
Чойр	P-1 (20Mвар)							
	P-2 (20Mвар)							
Мандал	P-1 (30Mвар)							
	P-2 (30Mвар)							
Тавантолгой	SVC-1	(-55.6) Mvar	(-56.6) Mvar	(+5) Mvar				(+15) Mvar
	SVC-2							
Оюутолгой	P-1 (20Mвар)							
	P-2 (20Mвар)							
ТЭЦ-Улаанбаатар	205	+	+	+	+	+	+	+
	206	+	+	+	+	+	+	+
Улаанбаатар-Багануур	209							
	210	+	+	+	+	+	+	+
Багануур-Чойр	207	+	+	+	+	+	+	+
Чойр-Мандал	225	+	+	+	+	+	+	+
ТЭЦ-Сонгино	211	+	+	+	+	+	+	+
	212	+	+	+	+	+	+	+
Сонгино-Мандал	213							
	214	+	+	+	+	+	+	+
Мандал-Тавантолгой	215	+	+	+	+	+	+	+
	216	+	+	+	+	+	+	+
Тавантолгой-Оюутолгой	217	+	+	+	+	+	+	+
	218	+	+	+	+	+	+	+
Оюутолгой-Цагаансуварга	221							
	222	+	+	+	+	+	+	+
Оюутолгой-Оюутолгой	219							
	220	+	+	+	+	+	+	+
Хүчдлийн хазайлт	ΔU%=max	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	5.7%	6.4%	
Load	P [MW]	413.55	413.55	413.55	413.55	413.55	413.55	413.55
	Q [Mvar]	110.15	170.75	170.75	215.75	215.75	250.75	
Losses	Total losses P [MW]	27.32	21.61	21.13	17.62	17.36	17.04	
	Load losses P [MW]	25.82	20.05	19.54	16.08	15.78	15.49	
	No load losses P [MW]	1.5	1.56	1.59	1.54	1.58	1.55	

Хүснэгт 7-оос харахад шугамын алдагдал хамгийн бага байх схем: Багануур, Чойр, Мандал дэд станцуудад тус бүр 20 МВар-н нэг реактортай бүх хос шугамнуудыг зэрэгцээ залгасан байна. 413,55 МВт дамжуулж 17,04 МВт буюу 4,12 % алдагдаж байна.

**8-Р ХҮСНЭГТ. ОЮУТОЛГОЙ УУРХАЙ 250  
МВТ АВАХ ҮЕИЙН СХЕМ, ЧАДЛЫН  
АЛДАГДАЛ**

Шугам, реакторууд		Оюутолгой уурхайн авах ачаалал P [MW]			
		250			
Багануур	P-1(20Mвар)		+		+
	P-2 (20Mвар)				
Чойр	P-1 (20Mвар)	+			
	P-2 (20Mвар)				
Мандал	P-1 (30Mвар)				
	P-2 (30Mвар)				
Тавантолгой	SVC-1	(-25) Mvar	(-25) Mvar	(-20) Mvar	(-20) Mvar
	SVC-2				
Оюутолгой	P-1 (20Mвар)				
	P-2 (20Mвар)				
ТЭЦ-Улаанбаатар	205	+	+	+	+
	206	+	+	+	+
Улаанбаатар-Багануур	209	+	+	+	+
	210	+	+	+	+
Багануур-Чойр	207	+	+	+	+
Чойр-Мандал	225	+	+	+	+
ТЭЦ-Сонгино	211	+	+	+	+
	212	+	+	+	+
Сонгино-Мандал	213	+	+	+	+
	214	+	+	+	+
Мандал-Тавантолгой	215	+	+	+	+
	216	+	+	+	+
Тавантолгой-Оюутолгой	217	+	+	+	+
	218	+	+	+	+
Оюутолгой-Цагаансуварга	221	+	+	+	+
	222	+	+	+	+
Оюутолгой-Оюутолгой уурхай	219	+	+	+	+
	220	+	+	+	+
Хүчдлийн хазайлт	$\Delta U\%=\max$	6.9%	8.7%	8.4%	7.2%
Load	P [MW]	463.55	463.55	463.55	463.55
	Q [Mvar]	170.9	170.9	170.9	175.9
Losses	Total losses P [MW]	27	26.44	26.86	27.22
	Load losses P [MW]	25.43	24.81	25.24	25.63
	No load losses P [MW]	1.57	1.63	1.62	1.59

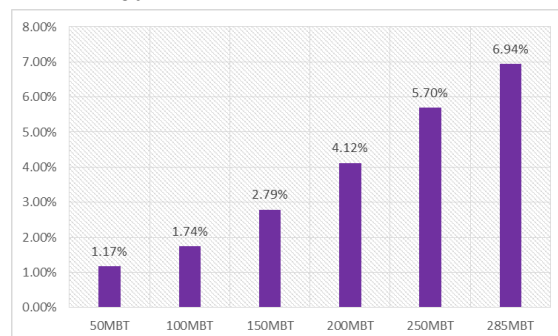
Оюутолгойн ачаалал 250 МВт хүрэхэд Тавантолгой дэд станцын SVC 25 Мвар хуурмаг чадал системд нийлүүлж байна. Энэ итерацийн чадлын алдагдал хамгийн бага байгаа горимд 26,44 МВт байна.

**9-Р ХҮСНЭГТ. ОЮУТОЛГОЙ УУРХАЙ 280  
МВТ АВАХ ҮЕИЙН СХЕМ, ЧАДЛЫН  
АЛДАГДАЛ**

Шугам, реакторууд		Оюутолгой уурхайн авах ачаалал P [MW]	
		280	
Багануур	P-1 (20Mвар)		
	P-2 (20Mвар)		
Чойр	P-1 (20Mвар)		
	P-2 (20Mвар)		
Мандал	P-1 (30Mвар)		
	P-2 (30Mвар)		
Тавантолгой	SVC-1	(-60) Mvar	(-59) Mvar
	SVC-2		
Оюутолгой	P-1 (20Mвар)		
	P-2 (20Mвар)		

ТЭЦ-Улаанбаатар	205	+	+
	206	+	+
Улаанбаатар-Багануур	209	+	+
	210	+	+
Багануур-Чойр	207	+	+
Чойр-Мандал	225	+	+
ТЭЦ-Сонгино	211	+	+
	212	+	+
Сонгино-Мандал	213	+	+
	214	+	+
Мандал-Тавантолгой	215	+	+
	216	+	+
Тавантолгой-Оюутолгой	217	+	+
	218	+	+
Оюутолгой-Цагаансуварга	221	+	+
	222	+	+
Оюутолгой-Оюутолгой уурхай	219	+	+
	220	+	+
Хүчдлийн хазайлт	$\Delta U\%=\max$	7.8%	7.2%
Load	P [MW]	489.97	489.97
	Q [Mvar]	123.01	124.01
Losses	Total losses P [MW]	34.03	34.74
	Load losses P [MW]	32.43	33.16
	No load losses P [MW]	1.6	1.58

Тооцооны үр дүнгээс харахад одоо байгаа ЭХС-н хувьд нөөц эх үүсвэртэй гэж үзэн дэд станцуудын реакторууд бүгд тасархай, хос шугамууд зэрэгцээ ажиллаж боломжит дээд ачаалал 280 МВт байна..



6-р зураг. Оюутолгой уурхайг Нэгдсэн системээс тэжээх үеийн чадал, чадлын алдагдал.

Чадлын алдагдал 7 % буюу харьцангуй их байгаа нь Говийн бүсэд чадлын нэмэлт эх үүсвэр зайлшгүй хэрэгтэй байгааг харуулж байна.

**IV. ТАВАНТОЛГОЙ ДЦС АШИГЛАЛТАНД  
ОРСОН ҮЕД ТАВАНТОЛГОЙ ДЭД  
СТАНЦААР ДАМЖУУЛЖ ОЮУТОЛГОЙ  
УУРХАЙГ ТЭЖЭЭХ ҮЕИЙН ГОРИМЫН  
ТООЦОО**

Тавантолгой ДЦС-аас 220/110/35/10 кВ Тавантолгой дэд станцуу АС-400/51 маркийн 20 км урт 2 хэлхээ шугам татсан гэж үзээд горимын тооцоог хийв.

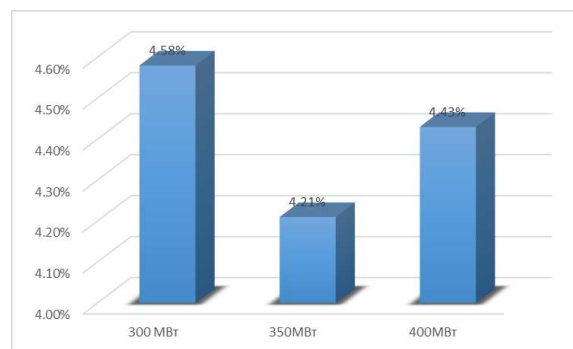


10-Р ХҮСНЭГТ. ОЮУТОЛГОЙ УУРХАЙГ ТАВАНТОЛГОЙ ДЭД СТАНЦААР ДАМЖУУЛАН ТЭЖЭЭХ ҮЕИЙН СХЕМ, ЧАДЛЫН АЛДАГДАЛ

Шугам, реакторууд		Оюутолгой уурхайн авах ачаалал P [MW]		
		300	350	400
Багануур	P-1 (20Mvar)		+	+
	P-2 (20Mvar)			
Чойр	P-1 (20Mvar)	+		+
	P-2 (20Mvar)			
Мандал	P-1 (30Mvar)	+	+	
	P-2 (30Mvar)			
Тавантолгой	SVC-1		(-30) Mvar	(-60) Mvar
	SVC-2			
Оюутолгой	P-1 (20Mvar)			
	P-2 (20Mvar)			
ТЭЦ-Улаанбаатар	205	+	+	+
	206	+	+	+
Улаанбаатар-Багануур	209			
	210	+	+	+
Багануур-Чойр	207	+	+	+
Чойр-Мандал	225	+	+	+
ТЭЦ-Сонгино	211	+	+	+
	212	+	+	+
Сонгино-Мандал	213	+	+	+
	214	+	+	+
Мандал-Тавантолгой	215	+	+	+
	216	+	+	+
Тавантолгой-Оюутолгой	217	+	+	81.1%
	218	+	+	81.1%
Оюутолгой-Цагаансуварга	221	+	+	+
	222	+	+	+
Оюутолгой-Оюутолгой уурхай	219	+	+	81%
	220	+	+	81%
Тавантолгой ДЦС-Тавантолгой дэд станц	AC-400/51	+	+	+
	AC-400/51	+	+	+
Хүчдлийн хазайлт	$\Delta U\% = \max$	5.7%	6.4%	8.4%
Load	P [MW]	513.55	563.55	613.55
	Q [Mvar]	236.06	236.21	186.36
Losses	Total losses P [MW]	23.55	23.76	27.22
	Load losses P [MW]	22.03	22.24	25.65
	No load losses P [MW]	1.52	1.52	1.57

400 МВт авах үед Тавантолгой-Оюутолгойн 217, 218 болон Оюутолгой-Оюутолгой уурхайн 219, 220-р АШ-ууд хэт ачаалагдаж байна.

Чадлын алдагдал 4,21-4,58%-тай байна.



7-р зураг. Оюутолгой уурхайг тэжээх үеийн чадал, чадлын алдагдал.

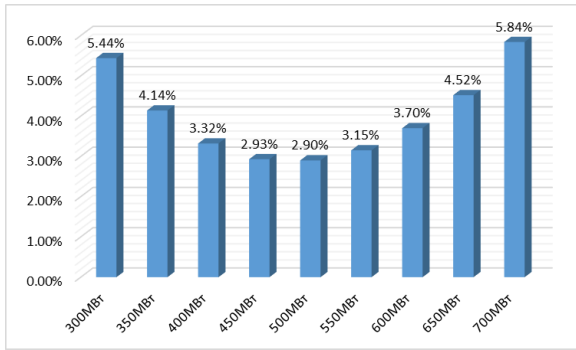
V. ТАВАНТОЛГОЙ ДЦС-ААС ШУУД ОЮУТОЛГОЙ УУРХАЙГ ТЭЖЭЭХ ҮЕИЙН ГОРИМ ТООЦОО

Тавантолгой ДЦС-аас Оюутолгой уурхай руу AC-400/51 маркийн 140 км урт 2 хэлхээ шугам татсан гэж үзээд горимын тооцоог хийв.

11-Р ХҮСНЭГТ. ОЮУТОЛГОЙ УУРХАЙГ ТАВАНТОЛГОЙ ДЦС-ААС ТЭЖЭЭХ ҮЕИЙН СХЕМ, ЧАДЛЫН АЛДАГДАЛ.

Шугам, реакторууд		Оюутолгой уурхайн авах ачаалал P [MW]								
		300	350	400	450	500	550	600	650	700
Багануур	P-1(20Mvar)	+	+	+						
	P-2 (20Mvar)									
Чойр	P-1(20Mvar)		+	+	+	+	+	+	+	+
	P-2 (20Mvar)									
Мандал	P-1 (30Mvar)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	P-2 (30Mvar)									
Тавантолгой	SVC-1						(-30) Mvar	(-60) Mvar	(-60) Mvar	(-60) Mvar
	SVC-2									
Оюутолгой	P-1 (20Mvar)									
	P-2 (20Mvar)									
ТЭЦ-Улаанбаатар	205	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	206	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Улаанбаатар-Багануур	209									
	210	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Багануур-Чойр	207	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Чойр-Мандал	225	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ТЭЦ-Сонгино	211	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	212	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Сонгино-Мандал	213	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	214	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Мандал-Тавантолгой	215	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	216	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Тавантолгой-Оюутолгой	217	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	218	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Оюутолгой-Цагаансуварга	221	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	222	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Оюутолгой-Оюутолгой уурхай	219	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	220	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Тавантолгой ДЦС-Оюутолгой уурхай	LGJ-400/50	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	LGJ-400/50	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Хүчдлийн хазайлт	$\Delta U\% = \max$	7.2%	5.2%	5.3%	5.8%	5.7%	5.7%	5.2%	7.0%	Хүдэл 203 кВ болж буурсан
Load	P [MW]	513.55	563.55	613.55	663.55	713.55	763.55	813.55	863.55	913.55
	Q [Mvar]	236.06	296.21	306.36	296.51	306.67	286.32	266.97	217.13	207.28
Losses	Total losses P [MW]	27.96	23.36	20.37	19.49	20.7	24.12	30.11	39.1	53.57
	Load losses P [MW]	26.39	21.88	18.88	17.97	19.19	22.6	28.6	37.56	52.06
	No load losses P [MW]	1.57	1.48	1.5	1.52	1.51	1.52	1.51	1.55	1.51

Оюутолгойн уурхайн ачаалалыг 300 МВт-аас 700 МВт хүртэл нэмж нийт 9 итераци хийсэн. Оюутолгой уурхайн ачаалал 700 МВт хүрэхэд 220 кВ-н шинийн хүчдэл 203 кВ болж буурсан тул итерацийг зогсоосон.



8-р зураг. Оюутолгой уурхайг Тавантолгой ДЦС-аас тэжээх үеийн чадал, чадлын алдагдал.

Системийн ачаалал 713,55 МВт, уурхайн ачаалал 500 МВт байхад чадлын алдагдал хамгийн бага буюу 2,9 % байна. Шугамын нийт чадлын алдагдал 19,49 МВт шугам ачаалалтай үеийн алдагдал 17,97 МВт, шугамын хоосон явалтын алдагдал 1,52 МВт. Схемийн хувьд Чойр дэд станц дээр 20 МВар Р-1, Мандал дэд станц дээр 30 МВар Р-1, Р-2 ажилд SVC тасархай. 205, 206, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222-р АШ-ууд зэрэгцээ ажиллаж байна. Өмнөх схемээс давуу тал нь Тавантолгой ДЦС-аас Оюутолгой уурхай руу шугам татсан тул шугамын ачаалал даах чадвар нэмэгдэж 400 МВт-700 МВт болж нэмэгдсэн байна.

Оюутолгой уурхай нь стратегийн томоохон орд газар бөгөөд найдвартай ажиллагааг хангаж түүнийг кольцо схемээр тэжээх нь зүйтэй юм. Иймээс Тавантолгой ДЦС-аас Тавантолгой дэд станц, Оюутолгой уурхай гэсэн чиглэлтэй нийт 160 км 220 кВ-н шугам барихаар тооцоо хийе.

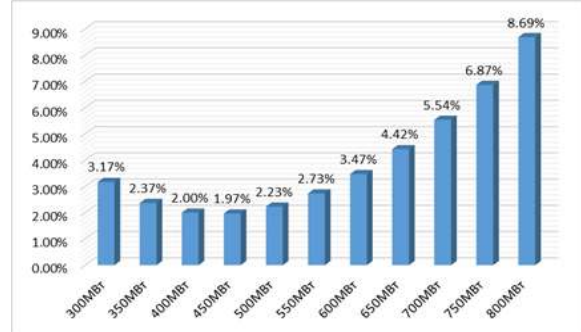
**VI. ОЮУТОЛГОЙ УУРХАЙГ КОЛЬЦО СХЕМЭЭР ТЭЖЭЭХ ҮЕИЙН ГОРИМ ТООЦОО**

**12-Р ХҮСНЭГТ. ОЮУТОЛГОЙ УУРХАЙГ ТАВАНТОЛГОЙ ДЦС-ААС КОЛЬЦО СХЕМЭЭР ТЭЖЭЭХ ҮЕИЙН СХЕМ, ЧАДЛЫН АЛДАГДАЛ.**

Шугам, реакторууд	Оюутолгой уурхайн авах ачаалал P [MW]										
	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800
Багануур	P-1 (20Mvar)	+	+	+	+	+	+				
	P-2 (20Mvar)										
Чойр	P-1 (20Mvar)	+	+	+	+	+	+	+	+		
	P-2 (20Mvar)										
Мандал	P-1 (30Mvar)	+	+	+	+	+	+	+	+		
	P-2 (30Mvar)	+	+	+	+	+	+	+			
Тавантолгой	SVC-1								(-60) Mvar	(-60) Mvar	(-60) Mvar
	SVC-2										
Оюутолгой	P-1 (20Mvar)										
	P-2 (20Mvar)										
ТЭЦ	205	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	206	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Улаанбаатар	209										
	210	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Багануур-Чойр	207	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	225	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Чойр-Мандал	211	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	212	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Сонгино-Мандал	213	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	214	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Мандал-Тавантолгой	215	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	216	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Тавантолгой-Оюутолгой	217	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	218	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Оюутолгой-Цагаансуварга	221													
	222	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	219	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Оюутолгой-Оюутолгой	220	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	LGJ-400/50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Тавантолгой ДЦС-Тавантолгой дэд станц	LGJ-400/50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	LGJ-400/50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Тавантолгой ДЦС-Оюутолгой дэд станц	LGJ-400/50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	LGJ-400/50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Хүчдлийн хаазилт	ΔU%=max	5.1%	5.1%	5.0%	5.0%	5.0%	5.6%	5.4%	6.0%	5.6%	5.6%	5.6%	5.6%	Хүчдэл 205 кВ болж
	P [MW]	513.6	553.6	613.6	663.6	713.6	763.6	813.6	863.6	913.6	963.6	1014		
Load	Q [Mvar]	286.1	296.2	306.4	316.5	326.7	336.8	327	307.1	227.3	217.4	227.6		
	Total losses P [MW]	16.31	13.37	12.3	13.12	15.93	20.89	28.27	38.19	50.68	66.27	88.16		
Losses	Load losses P [MW]	14.84	11.88	10.79	11.6	14.41	19.39	26.76	36.67	49.15	64.74	86.7		
	No load losses P	1.47	1.49	1.5	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.53	1.53	1.47		

Нийт дамжих чадал 1014 МВт Оюутолгой уурхайруу 800 МВт чадал өгөхөд шугамын алдагдал 88,16 МВт буюу 8,69 % байна.



9-р зураг. Оюутолгой уурхайг кольцо схемээр тэжээх үеийн чадал, чадлын алдагдал.

Тооцооноос харахад Оюутолгой уурхай 450 МВт хүртэл ачаалал авахад шугамын алдагдал хамгийн бага буюу 1,97% байна.

**VII. ОЮУТОЛГОЙ, ЦАГААНСУВАРГА УУРХАЙГ ЧАДЛЫН АЛДАГДАЛ ХАМГИЙН БАГА БАЙХ ГОРИМЫГ ТООЦООЛЪЕ**

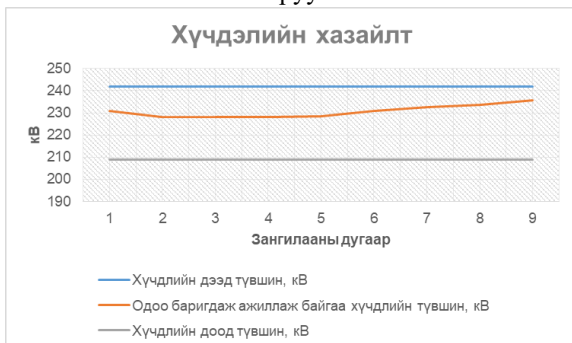
Өмнөх тооцооноос харахад шугамаар 450 МВт ачаалал дамжиж байхад чадлын алдагдал хамгийн бага байна. Иймээс Оюутолгой болон Цагаансуварга уурхайн нийлбэр ачаалал 450 МВт байхаар горимын тооцоо хийе.

13-Р ХҮСНЭГТ. ОЮУТОЛГОЙ, ЦАГААН СУВАРГА УУРХАЙГ ТАВАНТОЛГОЙ ДЦС-ААС ТЭЖЭЭХ ҮЕИЙН СХЕМ, ЧАДЛЫН АЛДАГДАЛ.

Шугам, реакторууд	1		2		3	
	Оюутолгой уурхайн авах ачаалал P [MW]	Цагаан суварга уурхайн авах ачаалал P	Оюутолгой уурхайн авах ачаалал P [MW]	Цагаан суварга уурхайн авах ачаалал P	Оюутолгой уурхайн авах ачаалал P [MW]	Цагаан суварга уурхайн авах ачаалал P
	400	50	350	100	300	150
Багануур	P-1 (20Mвар)	+				
	P-2 (20Mвар)					
Чойр	P-1 (20Mвар)	+				
	P-2 (20Mвар)					
Мандал	P-1 (30Mвар)	+				
	P-2 (30Mвар)	+				
Тавантолгой	SVC-1				(-30) Mвар	
	SVC-2				(-30) Mвар	
Оюутолгой	P-1 (20Mвар)					
	P-2 (20Mвар)					
ТЭЦ Улаанбаатар	205	+				
	206	+				
Улаанбаатар-Багануур	209					
	210	+				
Багануур-Чойр	207	+				
Чойр-Мандал	225	+				
ТЭЦ-Сонгино	211	+				
	212	+				
Сонгино-Мандал	213	+				
	214	+				
Мандал-Тавантолгой	215	+				
	216	+				
Тавантолгой-Оюутолгой	217	+				
	218	+				
Оюутолгой-Цагаансуварга	221	+				
	222	+				
Оюутолгой-Оюутолгой уурхай	219	+				
	220	+				
Тавантолгой ДЦС	LGJ-400/50	+				
Тавантолгой ДЦС-Оюутолгой д/ст	LGJ-400/50	+				
Хүчдлийн хазайлт	$\Delta U\% = \max$	5,6%		5,6%		208 кВ болж буурав.
Load	P [MW]	612.49		612.49		812.49
	Q [Mvar]	315.41		329.47		283.53
Losses	Total losses P [MW]	12.42		13.39		15.32
	Load losses P [MW]	10.91		11.89		13.82
	No load losses P [MW]	1.5		1.5		1.51

VIII. ДҮГНЭЛТ

1. Горимын тооцооноос говийн бүсийн нийт дамжсан чадал 222,504 МВт бөгөөд 3,127 МВт буюу 1,4 % нь шугам, трансформаторт алдагдаж байна. Эрчимийн алдагдал 0,765% хүчдэлийн хазайлт 7,1% байна. Энэ нь одоо байгаа системийн хувьд алдагдал багатай хэвийн ажиллах боломжтойг харуулж байна.



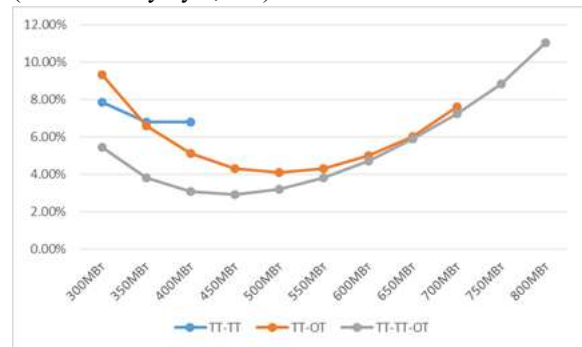
2. Монгол улсын ЭХС-г нөөц эх үүсвэртэй гэж үзвэл 280 МВт хүртэл Оюутолгой уурхай руу чадал дамжих боломжтой гэсэн хэдий ч Тавантолгой-Оюутолгой АШ-ын дамжуулах чадвар 100 %-д хүрч цаашид нэмж хэрэглэгч залгах боломжгүй болж байна. Өмнөговь аймагт

12 төрлийн ашигт малтмалын 71 орд, 185 орчим илрэл тэмдэглэгдсэн байдаг бөгөөд Өмнөговь аймгийн ЦЭХ хэрэглээ жилээс жилд нэмэгдсээр байна. [4] Иймээс шугамын ачаалалыг бууруулж өргөтгөх боломжтой болгохын тулд Говийн бүсэд чадлын нэмэлт эх үүсвэр зайлшгүй шаардлагатай нь харагдаж байна.

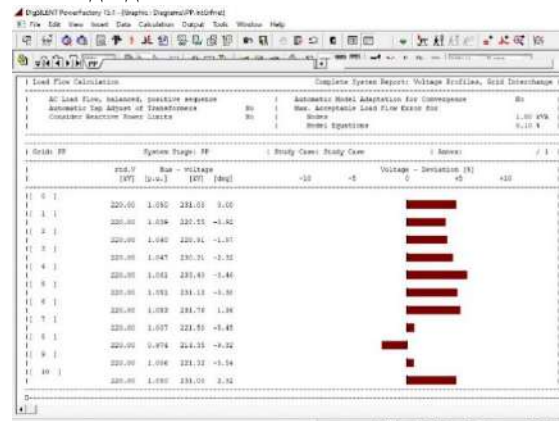
3. Тавантолгой ДЦС—Тавантолгой дэд станц—Оюутолгой уурхай гэсэн схемээр 300 МВт чадлыг 4,58 %-ийн алдагдалтайгаар дамжуулах боломжтой.

4. Тавантолгой ДЦС--Оюутолгой уурхай гэсэн схемээр 300 МВт-аас 700 МВт хүртэл ачааллыг нэмж болж байна. Алдагдал бага горим бол 500 МВт-ыг 2,9 % -н алдагдалтай дамжуулах.

5. Тавантолгой ДЦС—Тавантолгой дэд станц, Тавантолгой ДЦС—Оюутолгой уурхай гэсэн 220 кВ-н 2 хэлхээ шугамуудаар кольцо байдлаар холбож Оюутолгой уурхайг тэжээх нь бусад горимуудаас чадлын алдагдал хамгийн бага байхаар доорхи график дээр харагдаж байна. (450 МВт буюу 1,9%) .



7. Оюутолгой уурхай нь өнөөдрийн байдлаар 160 МВт ачаалал авдаг бөгөөд далд уурхай ашиглалтанд орсоноор 285 МВт болон түүнээс дээш ачаалал авна гэсэн тооцоо судалгаа гарсан байдаг. Оюутолгой, Цагаансуварга уурхайн нийлбэр ачаалал 450 МВт байхад шугамын чадлын алдагдал хамгийн бага буюу 2 %-н алдагдалтай байна.



Энэ үед хүчдэлийн хазайлт 6,1 % байна.

**IX. АШИГЛАСАН НОМ**

- [1]. Ш. Гантөмөр Цахилгаан дамжуулах агаарын шугам Улаанбаатар хот 2014 он
- [2]. Ш. Гантөмөр Цахилгаан шугам сүржээ, систем Улаанбаатар хот 2017 он
- [3]. Д. Содномдорж Цахилгаан эрчим хүчний системийн горимын цогцолбор судлал ба математик загварчлал Улаанбаатар хот 2012 он
- [4]. Б.Сэр-Од Инженерийн загварчлал Улаанбаатар хот 2017 он
- [5]. P.S.R Murty Power System Analysis
- [6]. Power Systems Analysis - Solutions Manual by John Grainger and William D. Stevenson
- [7]. Power System Analysis Power System Analysis, 2nd Ed
- [8]. Тавантолгой ДЦС ТӨХХК вэб сайт. <https://tttp.mn/items/145.html>
- [9]. [https://www.youtube.com/watch?v=D0ZxkdEf4Zs&list=PLuoxThigvXG6fT4tKhFYgQFDJrAi\\_BL7t](https://www.youtube.com/watch?v=D0ZxkdEf4Zs&list=PLuoxThigvXG6fT4tKhFYgQFDJrAi_BL7t)