

# ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ СИСТЕМД УХААЛАГ ТЕХНОЛОГИ, ХИЙМЭЛ ОЮУН УХААН НЭВТРҮҮЛЖ БУЙ ТУРШЛАГА

С.Сайнболд (PhD)<sup>1</sup>, Б.Эрдэнэбат<sup>2</sup>, Т.Батгэрэл (PhD)<sup>3</sup>, С.Оюундарь<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Монгол улс, Улаанбаатар, Диспетчерийн Үндэсний Төв ТӨХХК, Горим төлөвлөлт, тооцооны алба

<sup>2</sup>Монгол улс, Улаанбаатар, Улаанбаатар цахилгаан түгээх сүлжээ ТӨХК

<sup>3</sup>Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Эрчим хүчний сургууль, Цахилгааны техникийн салбар

**Хураангуй:** Монгол Улсын цахилгаан эрчим хүчний нэгдсэн сүлжээний тогтвортой үйл ажиллагааг хангаж, хэрэглэгчийг тасралтгүй найдвартай цахилгаан эрчим хүчээр хангах, мөн цахилгаан дамжуулах, түгээх сүлжээний бүтээмжийг нэмэгдүүлэх, сэргээгдэх эх үүсгүүрүүдийн нэвтрүүлэлтийг нэмэгдүүлэхэд “Ухаалаг эрчим хүчний систем”-ийн технологиудыг нэвтрүүлэх нь чухал үүрэгтэй. Монгол улсын эрчим хүчний салбарын байгууллагууд энэ шаардлагыг ойлгож, олон төсөл, ажлуудыг эхлүүлээд байна. Энэ өгүүллээр ухаалаг технологи, арга хэрэгслүүдийг өдөр тутмын үйл ажиллагаандаа нэвтрүүлээд буй Диспетчерийн үндэсний төв ТӨХХК, Улаанбаатар цахилгаан түгээх сүлжээ ТӨХК-уудын туршлага, гарсан үр дүнг танилцуулна. Хиймэл оюун ухааны нэг салбар машин сургалтын алгоритмыг хөгжүүлэн ТБНС-ний хоногийн ачааллыг цаг бүрээр таацлаж, үр дүнг бодит гүйцэтгэлтэй харьцуулсан ажлыг өгүүллийн эхний хэсэгт үзүүлэх бол дараагийн хэсэгт эрчим хүчний үйлдвэрлэл, дамжуулах, түгээх түвшинд ухаалаг тогтолцоог нэвтрүүлж, технологийн болон арилжааны үйл ажиллагааны оновчлол, эдийн засгийн үр ашиг дээшлүүлэх ажлын хүрээнд УБЦТС ТӨХК-д нэвтрүүлсэн DAS системийг танилцуулна.

**Түлхүүр үг:** *Хиймэл оюун ухаан, гүн сургалтын алгоритм, IoT зүйлсийн интернэт, их өгөгдөл, ухаалаг технологи, түгээлтийн автоматжуулсан систем, реклоузер, ухаалаг тоолуур, ухаалаг шилжүүлгийн пункт*

## I. УДИРТГАЛ

Эрчим хүчний систем дэх дэлхий нийтийн эрхэм зорилго бол системийн ажиллагааг ухаалаг болгохын тулд сайжруулаад зогсохгүй тогтвортой хөгжлийг урагшлуулах, эко системийг нэвтрүүлэх явдал юм. Сүүлийн 10 жилд дэлхийн олон улс орны цахилгаан эрчим хүчний системүүд ердийн үйлдвэрлэгч дамжуулах сүлжээ, түгээх сүлжээ, хэрэглэгч гэсэн уламжлалт эрчим хүчний системээс илүү дараагийн үеийн ухаалаг сүлжээ болох хиймэл оюун ухаан болон IoT буюу зүйлсийн интернэтийн технологид суурилсан өндөр технологи, үр ашиг бүхий систем рүү шилжиж байна. Ухаалаг сүлжээний систем нь их хэмжээний өгөгдөл цуглуулж машин сургалтын алгоритмыг ашиглан өндөр эдийн засгийн ач холбогдол бүхий системийг бий болгох цогц систем юм.

Машин сургалт гэдэг нь олон төрлийн математик алгоритмуудыг үр дүн гаргах эсвэл таац хийлгэхийн тулд их өгөгдөл ашиглан сургах үйл явц юм. Өмнөх олон тооны өгөгдлийг ашиглан сургасан алгоритм нь цаашдын шинэ өгөгдөл өгөхөд үр дүнг таацлах чадвартай болсон байдаг. Хиймэл оюун ухааны хувьд ямар ч нөхцөлд бие даан шийдвэр гаргаж, үйлдэл хийхийг хэлнэ. Хиймэл оюун буюу Artificial Intelligence (AI) нь компьютерын программ хангамжаар бүтээгдсэн, хүний сэтгэхүйг дуурайлгасан ба бараг ижил түвшинд хүргэсэн технологийн төрөл бөгөөд хүний хийдэг аливаа үйл ажиллагааг илүү нарийвчлалтай гүйцэтгэх зориулалттай. Хамгийн гол хөдөлгөгч гол хүч нь асар их хэмжээний дата, мэдээлэл юм.

Эрчим хүчний системд ухаалаг технологи болон хиймэл оюун ухааныг нэвтрүүлж буй гол алгоритм нь танин илрүүлэх мөн таац гаргах гэсэн үндсэн хоёр төрөл байдаг.

Хиймэл оюун ухааны илрүүлэх алгоритм нь тоног төхөөрөмжийн хэвийн болон хэвийн бус дүрс боловсруулах, ачааллыг урьдчилан тооцоолох, цаг агаарын нөхцөл байдалд үндэслэн салхи, нарны эрчим хүчийг урьдчилан таамаглах, эрчим хүчний чанарын зөрчлийг илрүүлэх, ангилах, гэмтэл илрүүлэх, эрчим хүчний аюулгүй байдал, менежмент зэргийг боловсруулж хамгийн оновчтой шийдвэрийг гаргаж байна. Хиймэл оюун ухааны алгоритмаар цахилгааны ачааллын таацыг гүйцэтгэсээр таацын нарийвчлалыг сайжруулах, гүйцэтгэлийн хугацаа болон чанарт маш том эерэг үзүүлэлтийг бий болгодог.

Эрчим хүчний салбарт хиймэл оюун ухааны хэрэглээг дараах зорилгуудаар өргөн нэвтрээд байна.

(i) Төлөвлөлт - Үүсгүүрүүдийн байршил, реактив хүчийг оновчтой болгох, сүлжээний тэжээгчийг удирдлага, конденсаторыг байрлуулах.

(ii) Ашиглалт – Дулааны болон цахилгаан станцын зохицуулалт, засвар үйлчилгээний хуваарь гаргах, алдагдлыг багасгах, ачааллыг зохицуулах, FACTS-д хяналт тавих.

(iii) Шинжилгээ – Гармоник гажуудлыг бууруулах, шүүлтүүрийн дизайн, ачааллын давтамжийн хяналт, ачааллын урсгал.

Ухаалаг сүлжээ гэх ойлголт нь олон төрлөөр тодорхойлогддог бөгөөд үндсэндээ эрчим хүчний системийн найдваржилт, аюулгүй байдал, бүтээмжийг сайжруулахаар цахим мэдээллийн сүлжээ удирдлагын технологийг нэмэгдүүлэх, сүлжээний нөөцийн хуваарилалт, ажиллагааг динамик байдлаар оновчлох, тархмал сэргээгдэх үүсгүүрүүдийн нэвтрүүлэлтийг нэмэгдүүлэх, real-time автомат технологиудыг сүлжээнд нэвтрүүлэх зэрэг нь ухаалаг сүлжээг бий болгох үндсэн алхмууд юм.

Энэ өгүүллийн II-р хэсэгт ДҮТ ТӨХХК-ийн хиймэл оюун ухааны алгоритмыг хөгжүүлж горим төлөвлөлтөд ашиглаж буй туршлагыг танилцуулах бол III-р хэсэгт УБЦТС ТӨХК-ийн ухаалаг технологиудыг сүлжээндээ нэвтрүүлж буй туршлага үр дүнгээс танилцуулна. Өгүүллийн II-р бүлэг хиймэл оюун ухаан буюу арга хэрэгсэл, III-р хэсэг ухаалаг технологийн шийдлүүдийг нэвтрүүлсэн үр дүн, туршлагаас үзүүлэх тул бүлэг бүр тусдаа дүгнэлт хэсгүүдтэй бие даасан байдлаар бэлтгэгдсэн.

## II. ДИСПЕТЧЕРИЙН ЗОХИЦУУЛАЛТАД ХИЙМЭЛ ОЮУН УХААН АШИГЛАЖ БУЙ ТУРШЛАГА

### A. Оршил

ДҮТ ТӨХХК нь шинэ дэвшилтэт технологи, арга хэрэгслүүдийг өдөр тутмын ажиллагаандаа нэвтрүүлж үнэ цэнэ бүтээх зорилтын хүрээнд, ЭХС-ийн их өгөгдлийг цуглуулах, өгөгдлийн шинжилгээ хийх, хиймэл оюун ухаан, машин сургалтыг үйл ажиллагаандаа нэвтрүүлэхээр ажиллаж байна. Эхний ээлжинд хиймэл оюун ухааны нэгэн салбар болох машин сургалтыг ашиглан ТБНС-ний хоногийн оргил ачааллыг таацлах алгоритмыг хөгжүүлж үр дүнг танилцуулсан. Энэ өгүүлэлд дээрх ажлыг үргэлжлүүлэн, хоногийн цаг бүрийн ачааллыг таацлах машин сургалтын алгоритмыг хөгжүүлсэн үр дүнг үзүүлэв. Энэ алгоритмыг ашиглан оролтод шаардлагатай өмнөх ачааллын гүйцэтгэлүүд болон цаг уурын мэдээллийг өгч ирэх өдрийн цаг бүрийн цахилгаан ачааллын таацыг хийлгэнэ.

Эрчим хүчний системийн давтамжийг хэвийн хадгалж, тогтвортой ажиллагааг хангахын тулд хэрэглээ, үйлдвэрлэл үргэлж тэнцвэртэй байх шаардлагатай. Системийн цахилгаан ачаалал нь өдрийн турш өөрчлөгдөх ба тус ачааллыг нарийвчлал өндөртэй таацласнаар, эх үүсгүүрийн төлөвлөлтийг эдийн засгийн үр ашигтай гүйцэтгэх боломж бүрдэнэ.

Олон улсад эрчим хүчний салбарт хиймэл оюун ухааны алгоритмуудыг өргөн хүрээнд ашиглах болсон бөгөөд цахилгаан ачаалал, СЭХ-ний үүсгүүрүүдийн үйлдвэрлэлийн таац, дамжуулах сүлжээний өргөтгөл, төлөвлөлт, тоноглолын хяналт, менежмент, автоматикийн удирдлага зэрэгт нэвтрүүлэн амжилттай ашиглаж байна.

### B. Машин сургалтын алгоритм

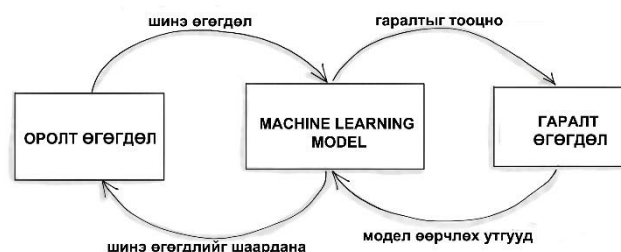
Машин сургалтын алгоритмуудыг хэрхэн сургаж байгаагаас хамааруулан дараах 3 үндсэн чиглэлд хуваан авч үздэг:

1. Хяналттай сургалт (Supervised learning)
2. Хяналтгүй сургалт (Unsupervised learning)
3. Хүчитгэсэн сургалт (Reinforcement learning)

Хяналттай сургалт гэдэг нь алгоритмаа сургахдаа оролтын өгөгдөл болон гаралтын өгөгдөлийн аль альны олон тооны утгуудыг ашигладаг сургалт юм. Хяналтгүй

сургалт нь алгоритмд зөвхөн оролтын их хэмжээний өгөгдөл өгч, тухайн өгөгдөл дэхь зүй тогтолыг тодорхойлдог. Хүчитгэсэн сургалтын алгоритмд оролт болон гаралтын өгөгдөл шаардагдахгүй, зөвхөн гол зарчмуудыг суулгадаг бөгөөд тухайн алгоритм нь өөрөө олон төрлийн туршилт хийж сурдаг. Хүчитгэсэн сургалтыг автомат жолоодлого, робот сургалтад өргөн хэрэглэдэг байна.

Цахилгаан ачаалал болон цаг уурын өмнөх олон жилийн өгөгдлүүд хадгалагдсан байдаг учир төвийн бүсийн цахилгаан ачааллыг таацлах машин сургалтын алгоритм нь хяналттай сургалтын төрөлд багтана. Зураг 9-д хяналттай сургалтын алгоритмыг сургах ерөнхий бүдүүвчийг үзүүлэв. Машин сургалтын алгоритмд оролтын өгөгдлүүдийг нэг нэгээр өгөх бөгөөд тухайн алгоритмоор бодогдон гарсан гаралтын утгыг бодит өгөгдөлтэй харьцуулж, алгоритмд буцаан засвар оруулдаг. Энэ мэтчилэн олон мянган оролт, гаралтын өгөгдлүүдээр алгоритмыг сургаснаар тухайн алгоритм нь шинэ оролтын өгөгдөл өгөхөд гаралтыг өндөр нарийвчлалтай таацлах чадвартай болно.



9-р зураг. Хяналттай сургалтын алгоритмыг сургах бүдүүвч

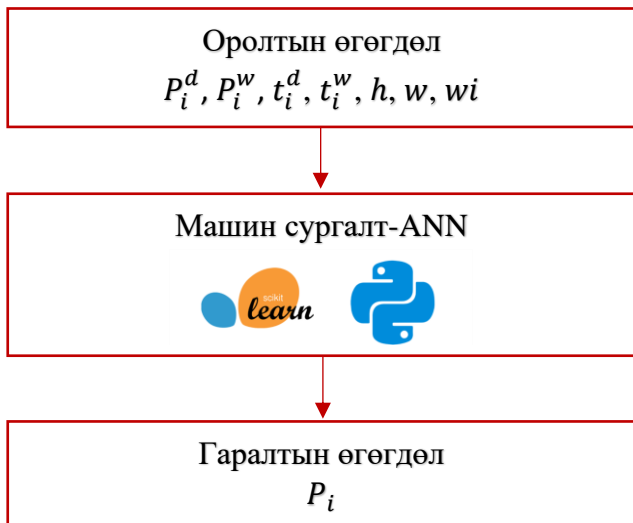
ТБНС-нд ахуйн хэрэглэгчид зонхилж байдаг тул цахилгаан ачаалал нь гадна орчны температураас хүчтэй хамаарч байдаг. Тиймээс өмнөх гадна орчны температурын гүйцэтгэл болон таац хийх өдрийн гадна орчны температурын мэдээний зөрүү нь таацын ачаалалд нөлөөлөх гол хүчин зүйлүүдийн нэг юм. Мөн өмнөх өдрийн ачаалал нь тухайн өдрийн ачааллыг таацлахад шаардагдах суурь болж өгнө. Ажил, амралтын өдрүүдийн цахилгаан ачаалал мөн хоорондоо ялгаатай өөрсдийн зүй тогтолтой байдаг учир алгоритмын оролтод зөвхөн өмнөх өдрийн ачааллын гүйцэтгэлийг өгөх нь учир дутагдалтай. Тиймээс энэхүү ялгааг машин сургалтын алгоритмд оруулж өгөхийн тулд өмнөх долоо хоногийн ижил гарагийн цахилгаан ачааллын утгыг оролтод өгсөн. Хоногийн ачааллын зүй тогтол, хамаарах хүчин зүйлүүдийн талаар, өмнөх ажил дээр дэлгэрэнгүй тайлбарлаж, ТБНС-ний хоногийн ачааллын графикт дүн шинжилгээ хийсэн тул энэ өгүүлэлд оруулаагүй.

Хиймэл оюун ухаан ашигласан өмнөх ажлаар зөвхөн дараа өдрийн оргил ачааллыг таацлах алгоритм хөгжүүлж байсан бол энэхүү ажилд дараа өдрийн цахилгаан ачааллыг цаг бүрээр таацлах алгоритм хөгжүүлсэн. Хүснэгт 1-т ТБНС-ний цахилгаан ачаалал өмнөх өдрийн болон өмнөх долоо хоногийн ижил гаригийн ачааллуудаас хэрхэн хамаарч байгааг үзүүлэв.

1-р хүснэгт. ТБНС-ний цахилгаан ачаалал өмнөх өдрийн болон өмнөх долоо хоногийн ижил гарагийн ачааллуудын хамаарал

ТБНС цахилгаан ачаалал	Корреляцын коэффициент
Цахилгаан ачаалал өмнөх өдрийн ачааллын хамаарал	0.988
Цахилгаан ачаалал өмнөх долоо хоногийн ижил гарагийн ачааллуудын хамаарал	0.972

Зураг 10-т ТБНС-ний хоногийн цаг бүрийн ачааллыг таацлах машин сургалтын алгоритм хөгжүүлэлтийн үндсэн загварыг үзүүлэв. Машин сургалтыг Python программын хэл, Scikit-learn өгөгдлийн сан ашиглан гүйцэтгэсэн.



10-р зураг. ТБНС-ний хоногийн цаг бүрийн ачааллыг таацлах машин сургалтын алгоритм хөгжүүлэлт

Энд:  $P_i$ -таац хийх  $i$  цагийн цахилгаан ачаалал,  $P_i^d$ -өмнөх өдрийн  $i$  цагийн цахилгаан ачаалал,  $P_i^w$ -өмнөх долоо хоногийн ижил гарагийн  $i$  цагийн цахилгаан ачаалал,  $t_i^d$ -өмнөх өдрийн  $i$  цагийн гадна орчны температур ирэх өдрийн  $i$  цагийн гадна орчны температурын мэдээний зөрүү,  $t_i^w$ -өмнөх долоо хоногийн ижил гарагийн  $i$  цагийн гадна орчны температур ирэх өдрийн  $i$  цагийн гадна орчны температурын мэдээний зөрүү,  $h$ -цаг (1-24),  $w$ -гарагийн дугаар (1-7),  $wi$ -ажил амралт өдрийн коэффициент (1-ажлын өдөр, 2- амралтын өдөр)

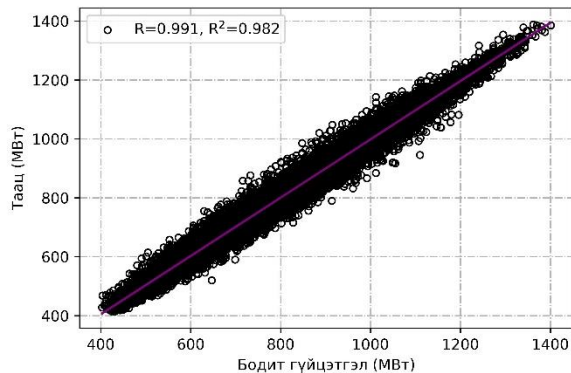
### C. Өгөгдөл боловсруулалт

Энэ ажилд 2017-2021 оны ТБНС-ний цаг бүрийн цахилгаан ачааллын өгөгдлийг ашигласан (Нийт 43824 өгөгдөл). Цахилгаан ачааллын өгөгдлийг ДҮТ ТӨХХК-ийн ТБНС-ний цахилгааны хоногийн мэдээний архиваас авсан бол гадна орчны температурын мэдээллийг Visual Crossing цаг уурын өгөгдлийн сангаас авсан [11].

### D. Үр дүн ба харьцуулалт

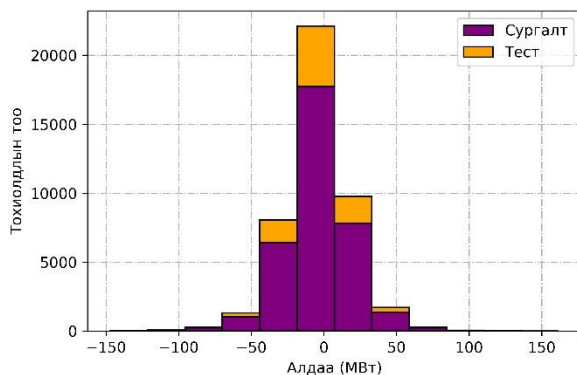
Энэ хэсэгт ТБНС-ний хоногийн цаг бүрийн ачааллыг таацлах машин сургалтын алгоритмыг ашиглан таац хийж бодит гүйцэтгэлтэй харьцуулсан үр

дүнг үзүүлнэ. Хөгжүүлсэн алгоритмд 2017-2021 оны өгөгдлийг оролтод өгч таац гүйцэтгүүлсэн бөгөөд үр дүнг бодит гүйцэтгэлтэй харьцуулсан статистик хэмжүүрүүдийг дараах Зураг 11-т үзүүлэв. ТБНС-ний цахилгаан ачааллын таац болон бодит гүйцэтгэл хоорондоо маш сайн таарч байгааг дараах коэффициентүүд үзүүлсэн.



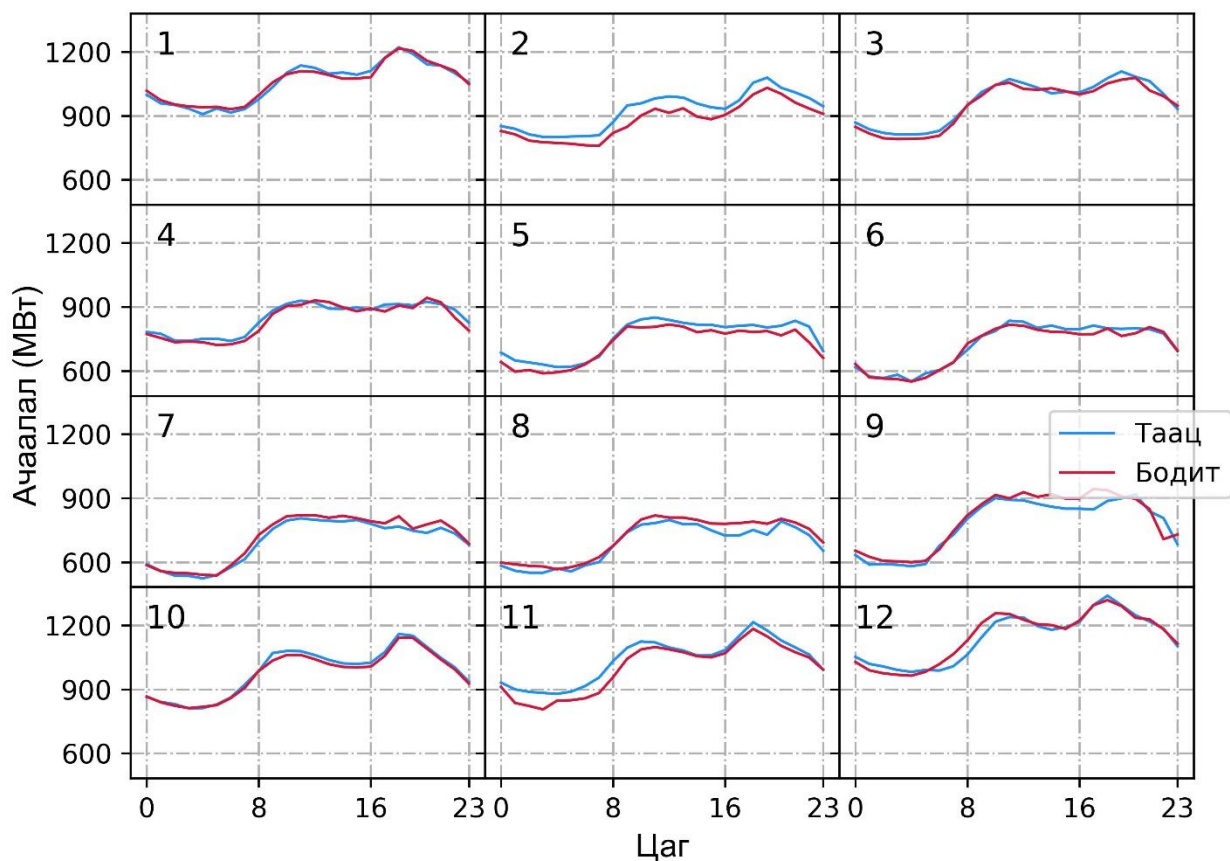
11-р зураг. Сургасан алгоритмыг ашиглан хийсэн таац болон бодит гүйцэтгэлийн хоорондын корреляц хамаарал

Машин сургалтын алгоритмаар гүйцэтгэсэн таац болон бодит гүйцэтгэлийн өгөгдлүүдийн алдааг энэхүү судалгаанд ашигласан нийт 43824 цагийн ачааллын мэдээнд тооцож, алдааны тархалтыг Зураг 12-т үзүүлэв. Нийт тохиолдлын талаас илүү хувьд алдааны утга  $\pm 20$  МВт-аас бага, зөвхөн 4% орчимд  $\pm 50$ -ын алдаа гарсан байна.



12-р зураг. Сургасан алгоритмыг ашиглан хийсэн таац болон бодит гүйцэтгэлийн хоорондын алдааны тархалт

Машин сургалтын алгоритмаар гүйцэтгэсэн таац болон бодит гүйцэтгэлийг 2021 оны сар бүрийн санамсаргүй сонгосон өдрүүдэд харьцуулан Зураг 13-т үзүүлэв. Үр дүнгээс харахад машин сургалтын алгоритмын таац болон бодит гүйцэтгэл сайн таарч байна. ТБНС-ний оргил ачаалал өвлийн улиралд оройн цагаар гардаг ба энэ үед үд дундын ачаалал оройн оргил ачааллын зөрүү өндөр байдаг. Харин зуны улиралд сэрүүцүүлгийн төхөөрөмжүүдийн ачаалалтай холбоотойгоор ТБНС-ний оргил ачаалал өдрийн цагаар гардаг ба оройн ачаалалтай тун ойролцоо байдаг онцлогтой.



13-р зураг. Машин сургалтын алгоритмаар гүйцэтгэсэн таац болон бодит гүйцэтгэлийн харьцуулалт (2021 оны сар бүрийн дундаж өдрөөр)

Тэгвэл машин сургалтын алгоритм нь энэхүү улирлын шинжтэй ачааллын зүй тогтолд гарч буй өөрчлөлтийг маш сайн мэдэрч, таац гүйцэтгэсэн байгаа нь Зураг 13-аас харагдаж байна.

#### Е. Дүгнэлт

Өгүүллийн энэ хэсэгт ДҮТ ТӨХХК-ийн хиймэл оюун ухааны алгоритмыг хөгжүүлж, өдөр тутмын горим төлөвлөлтөд ашиглаж байгаа туршлага, үр дүнгээс танилцууллаа. Энэхүү дэвшилтэт аргыг хэрэглэснээр ТБНС-ний цахилгаан ачааллыг илүү нарийвчлал сайтай таацлах боломж олгож, цаашлаад өдөр тутмын горим төлөвлөлтийг оновчтой гүйцэтгэх суурь болох юм. 2017-2021 оны цахилгаан ачааллын 43824 өгөгдлийг ашиглан машин сургалтыг гүйцэтгэж, сургасан алгоритмаар таац гүйцэтгэсэн үр дүнг бодит гүйцэтгэлтэй харьцуулсан болно. Харьцуулалтын үр дүнгээс харахад таац болон бодит гүйцэтгэлийн корреляцын коэффициент 0.991 байгаа нь маш өндөр хамаарал юм. Мөн цаг бүрийн ачааллын таацаар гаргасан хоногийн ачааллын график нь улирлаас хамаарсан хэлбэрийн өөрчлөлтийг сайн гаргасан. Үр дүнг танилцуулсан энэхүү алгоритмыг ДҮТ ТӨХХК өдөр тутмын горим төлөвлөлтөд ашиглаж байгаа бөгөөд

цаашид тасралтгүй хөгжүүлж ашиглахаар төлөвлөж байна.

### III. УХААЛАГ ТЕХНОЛОГИЙГ ТҮГЭЭХ СҮЛЖЭЭНД НЭВТРҮҮЛЖ БҮЙ ТУРШЛАГА

Улаанбаатар цахилгаан түгээх сүлжээ төрийн өмчит хувьцаат компани нь 1932 онд байгуулагдсан бөгөөд нийслэлийн 8 дүүрэг, Төв аймгийн 16 сумын нутаг дэвсгэрийн 420 мянга гаруй хэрэглэгч буюу Монгол улсын нийт хүн амын 52 орчим хувьд цахилгаан эрчим хүчийг түгээн борлуулах, ашиглалтын найдвартай ажиллагааг хангаж ажилладаг томоохон байгууллага юм.

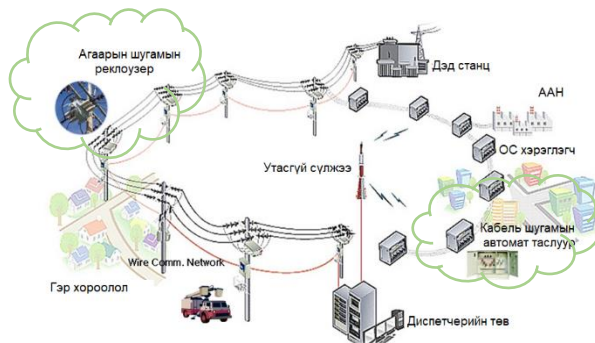
Үйлчлэх хүрээний нийт 4042.5 МВА суурилагдсан чадал бүхий 35 кВ-ын 1111 км шугам, 274 дэд станц, 6-10 кВ-ын 5371 км шугам, 7752 дэд станц, 106 хуваарилах байгууламж, 0.4 кВ-ын 4274 км шугам үүнээс компанийн ашиглалтын 2100.7 МВА суурилагдсан хүчин чадал бүхий 35 кВ-ын 943 км шугам, 63 дэд станц, 6-10 кВ-ын 3051 км шугам, 2666 дэд станц, 80 хуваарилах байгууламж, 0.4 кВ-ын 3596 км шугамын тасралтгүй найдвартай ажиллагааг ханган ажиллаж байна.

Түгээлтийн автоматжуулсан системийг нэвтрүүлэх ажлын хүрээнд дараах ажлуудыг хийж гүйцэтгэн хөгжүүлж байна. Үүнд:

1. Хяналт удирдлагын автоматжуулсан систем (SCADA) 35/10(6) кВ-ын 22 дэд станц, 6-10 кВ-ын 45 хуваарилах байгууламж, 10 кВ-ын 4 ХТП, 1 ш Дизель нийт 72 объект дах 769 таслуурт SCADA системийг нэвтрүүлж, 191,917 хэрэглэгчийг хамарсан 568 (65.3%) фидерийн үндсэн параметрууд (гүйдэл, хүчдэл, чадал, давтамж), таслах залгах тоноглолын төлөв, горим ажиллагааг тухайн агшин бүрээр диспетчерийн пультнээс байнга хянахаас гадна таслах, залгах үйлдлийг алсын удирдлагаар гүйцэтгэх боломж бүрдсэн нь шуурхай ажиллагаанд гарсан дэвшилтэт алхам болсон юм.
2. Гэр хорооллын шугам сүлжээнд автоматжуулсан систем үүсгэн 35 кВ-ын 21 ком, 6-10 кВ-ын 61 ЦДАШ-д 59,839 (16.6%) хэрэглэгчийн хамарсан 98 иж бүрдэл автомат таслуур бүхий реклоузериин пунктыг суурилуулан удирдаж байна.
3. Түгээлтийн автоматжуулсан систем (DAS) Хан-Уул дүүргийн 2, 3 дугаар хорооны 2872 (0.8%) хэрэглэгчтэй 6 кВ-ын “Алтай”, “19 дүгээр хороолол” фидерийг холбосон 1 хуваарилах байгууламж, 7 дэд өртөөг хамарсан автоматжуулсан систем үүсгэсэн.
4. Алсаас мэдээлэл дамжуулах боломжтой ухаалаг тоолуурын тоо 13,468 байгаа бөгөөд энэ нь компанид ашиглаж байгаа нийт тоолуурын 3% орчмыг эзэлж байна.

Дээрх ухаалаг систем, тоноглолыг судлан хөгжүүлэхээс гадна дэд станцын оруулга, гаргалгад хэрэглэж байгаа шилжүүлэг ил хуваарилах байгууламжид байрласан цахилгаан тоноглолыг нэвтрүүдлэхээр судлаж байна. Өөрөөр хэлбэл тоноглол тус бүрдээ газарт тусгай зориулалтын сууринд эсвэл тулгуурт суурилагдсан байдлаар ашигладаг. Энэхүү хэрэглэж байгаа шилжүүлгийн арга нь тоноглолын овор хэмжээтэй тул зай хэмжээ их эзэлдэг, ухаалаг системд шилжүүлэх боломжгүй, сэлгэн залгалтын үед цэнэгжилтийн гүйдэл үүсгэх, эрсдэлтэй нөхцөл байдал үүсгэсэн зэрэг сул талуудтай байна. Ухаалаг шилжүүлгийн пунктийг дамжуулах, түгээх сүлжээний 35-110 кВ-ын хүчдэлийн ЦДАШ-д нэвтрүүлэхээр судласан бөгөөд тус пунктийн тоноглолууд, угсралтын технологи, ашиглалтын байдал, РХА-ийн ажиллагаа, бүтэц загвар дизайн, ухаалаг системийн холболт, давуу тал зэргийг судласан.

Түгээлтийн автоматжуулсан системийг өөрийн сүлжээний онцлогт тохируулан дараах бүдүүвчийн дагуу нэгдсэн ухаалаг систем бий болгохыг зорьж байгаа бөгөөд SCADA системээр дамжуулан реклоузериин пункт, DAS, ухаалаг тоолуурын систем ийг нэвтрүүлж байна.



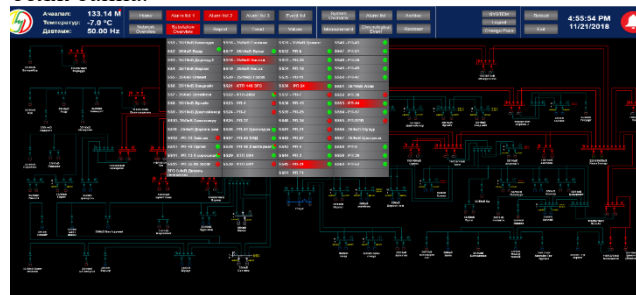
1-р зураг. Түгээлтийн автоматжуулсан систем

### A. Түгээлтийн хяналт, мэдээлэл, удирдлагын систем-SCADA

УБЦТС ТӨХК нь 2015 оноос хойш нийт нийт 72 объект SCADA системд холбогдсон алсын удирдлагаар хянан ажиллаж байна.

- ✓ 35/6(10) кВ-ын 22 дэд станц (37%),
- ✓ 6,10 кВ-ын 45 хуваарилах байгууламж (57%),
- ✓ Бусад 6 (ХТП, дизель)

Энэ нь 6-35 кВ-ын 860 гаруй шугамын 568 шугам алсын удирдлагаар хянаж байгаа буюу нийт шугамын 65.3% болж байна.



2-р зураг. SCADA системийн хяналтын дэлгэц

Диспетчерийн удирдлагын төв:

- Өргөн дэлгэцийн систем
- Үндсэн сервер
- Хэрэглэгчийн суурийн компьютер
- Сүлжээний төхөөрөмж
- GPS цагийн систем

### B. Агаарын шугамын сүлжээнд нэвтрүүлсэн автоматжуулсан систем

Түгээх сүлжээнд 10-35 кВ-ын ЦДАШ-уудад тасралт сааталд хамрагдах хэрэглэгчийн хүрээг багасгах, гэмтлийн цэгийг богино хугацаанд илрүүлж таслах, шугам тоноглолын найдвартай ажиллагааг хангах зорилгоор нийт **98** ком (2018 оноос) реклоузер суурилуулж вакуум таслуур бүхий реклоузериин пункт суурилуулан SCADA системтэй холбон алсын зайнаас

удирдаж байна. (59,839 хэрэглэгч буюу 16.6% хамрагдсан)

1. 35 кВ-ын 6 ЦДАШ – 15 ком (Tavrida, ОХУ, Noja power, Австрали)
2. 6,10 кВ-ын 37 ЦДАШ – 63 ком (Tavrida, Noja power, Австрали)



3-р зураг. Реклоузерын пункт

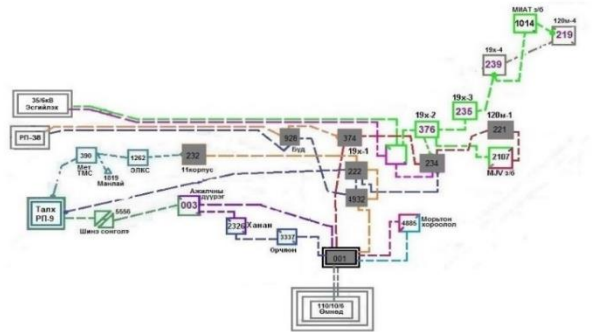
Реклоузер нь хувьсах гүйдлийн хэлхээг таслах ба давтан залгах фикслээр урьдчилан тохируулсан алгоритм/тавилын дагуу автоматаар таслах ба давтан залгах зориулалттай тасрах юм уу эсвэл буцаад залгагдсаны дараа өөрийн тухайн байршлыг хадгалах, анхны горимд шилжих зэрэг өөрийгөө тохируулдаг автомат ажиллагаатай төхөөрөмж юм. Реклоузер нь өөртөө богино залгааны гүйдлийг илрүүлэх, хэмжих, түүнийг алсаас удирдах ба диспетчерийн удирдлагын систем /Скада/-д мэдээлэл дамжуулахад шаардлагатай иж бүрдэл элементүүдийг агуулж байдаг. Мөн тасралтыг эгшин зуур мэдэх боломжтой болсон. Тасралтыг түргэн шуурхай мэдсэнээр тасралтын шалтгааныг түргэн шуурхай оношлож богино хугацаанд хэвийн ажиллагаанд оруулж тасралтын хугацааг богино болгож түгээлтийг нэмэгдүүлнэ.

Суурилуулснаас хойш 5 жилийн байдлаар автомат таслуур бүхий реклоузерын пункт 23 шугамд 208 удаагийн тасралт гарч дараах үзүүлэлтүүд дээшилсэн. Үүнд:

- Хэрэглэгчдийн цахилгаан хангамжийн найдвартай байдлыг дээшлүүлж, давхардсан тоогоор 83,731 хэрэглэгч (нийт хэрэглэгчийн 20%) тасраагүй үлдсэн.
- САИДИ 17.65 мин, САЙФИ -0.19 тохиолдлоор, КАИДИ – 302 минутаар тус тус буурсан.
- ДТЦЭХ-702 мян.кВт.ц-аар,
- Хүлэмжийн хий (CO<sub>2</sub>)-323 кг-аар тус тус бууруулсан.
- Горим шилждэг цэгт суурилуулснаар гэмтэл саатал гарсан тохиолдолд өөр эх үүсвэрээс цаг алдалгүй цахилгаан эрчим хүчээр хангах боломжтой болсон.
- Системд холбогдсон дэд станцуудаас авсан мэдээлэл дээр тооцоо судалгаа хийж, сүлжээний өргөтгөл шинэчлэлтийг төлөвлөх бүрэн боломжтой ба мэдээллийн нэгдсэн баазтай болсон.

### С. Кабель шугамын сүлжээнд нэвтрүүлсэн автоматжуулсан систем

2020 оны хөрөнгө оруулалтын төлөвлөгөөнд тусгагдсан Хан-Уул дүүргийн 2, 3 дугаар хорооны хэрэглэгчдэд “Түгээх сүлжээнд түгээлтийн автоматжуулсан систем : DAS” нэвтрүүлэх ажлын хүрээнд 110/10/6 кВ-ын Өмнөд дэд станцаас РТП-100 хуваарилах байгууламж болгон шинэчилж, 6кВ-ын Алтай, 19 дүгээр хороолол фидерийн нийт 7 дэд өртөөг (2872 хэрэглэгч) RM6 маягийн моноблок хорго бүхий хуваарилах байгууламжаар шинэчлэн, SCADA-аас автомат удирдлагад шилжүүлэх хийгдсэн байна.



4-р зураг. DAS нэвтрүүлсэн горимын схем

DAS нэвтрүүлсэн хуваарилах байгууламж, дэд өртөө

- |            |             |
|------------|-------------|
| 1. РТП-100 | 5. ХТП-1928 |
| 2. ХТП-221 | 6. ХТП-4932 |
| 3. ХТП-003 | 7. ХТП-234  |
| 4. ХТП-232 | 8. ХТП-374  |

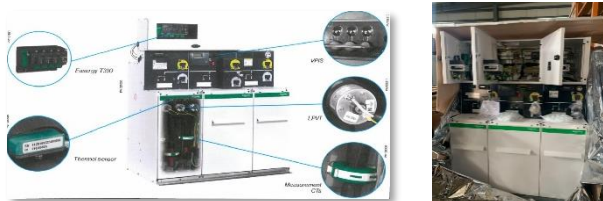
Уг ажлын хүрээнд 7 дэд өртөөг сонгож 6 кВ талын хуваарилах байгууламжийг RM6 маягийн моноблок хорго бүхий хуваарилах байгууламж болон Easergy T-300 мэдээлэл дамжуулах, цуглуулах төхөөрөмжөөр шинэчлэн SCADA системд холбох DAS нэвтрүүлсэн.



5-р зураг. Easergy T300

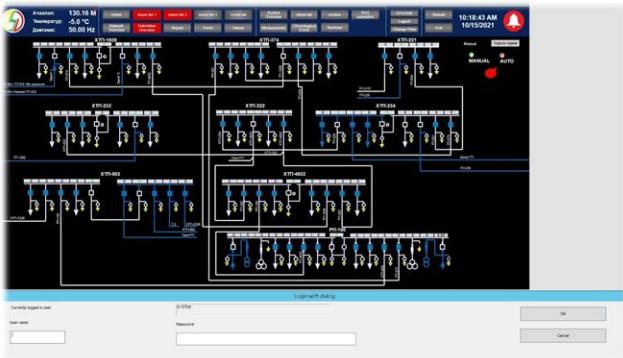
Schneider Electric брэндийн модуляр бүтэцтэй Easergy T300 төхөөрөмж нь өндөр болон нам хүчдэлийн дамжуулах, түгээх сүлжээний менежмент хийх зориулалттай хамгийн орчин үеийн техник болон програм хангамжийн цогц шийдэл юм.

Хуваарилах байгууламжийн тоноглол нь овор хэмжээ багатай ачаалал таслагч, таслуур бүхий SF6 хийн тусгаарлагатай (1 ерөнхий бактай) моноблок хийцтэй хуваарилах байгууламж, мэдээлэл дамжуулах төхөөрөмж (Easergy T300), кабель шугамын гэмтэл заагч, кабелийн халалтын мэдрүүр, реле хамгаалалт автоматикийн төхөөрөмжүүд, моноблокод үйлдвэрийн аргаар угсрагдсан хуваарилах байгууламжуудыг дэд өртөөний 6 кВ хуваарилах байгууламжийг шинэчилсэн.



6-р зураг. Easergy T300

SCADA системд РП-100 хуваарилах байгууламж, ХТП-1928, ХТП-232, ХТП-003, ХТП-374, ХТП-221, ХТП-234, ХТП-4932 дэд өртөөний зарчим болон холболтын схемийг зурж тохируулан, SCADA системийн DAS модульд горимын логик ажиллагааг програмчлан оруулсан. ТП-үүдийг SCADA систем, логик (DAS) функцтэй холбох, ажиллагааг турших ажлыг хийж гүйцэтгэсэн.



7-р зураг. SCADA системд зурсан горимын схем

DAS нь автомат болон гар горимд шилжиж ажиллах бөгөөд автомат ажиллагааны үед горим шилжих дараалал (3-6 минут)

1. РП-100, РП-38 хуваарилах байгууламжийн реле хамгаалалт ажилласан дохиолол ирнэ;
2. DAS холболтын схемд гэмтэл гарсан кабелийг тусгаарлан, логик програмчлалын дагуу горимын шилжилт автоматаар хийгдэх процесс хяналтын дэлгэцэнд харагдана;

Түгээлтийн автоматжуулсан систем нь түгээх сүлжээнд суурилуулсан автомат таслуур, богино залгааны гэмтэл заагч, халалт хэмжих төхөөрөмж зэргийн тусламжтайгаар алсын удирдлагаар хянан удирдахын зэрэгцээ SCADA системийн түгээлтийн автоматжуулсан систем DAS модуль нь түгээх

сүлжээнд гарсан гэмтлийг илрүүлэх, гэмтэлтэй цэгийг тусгаарлах, ачаалал шилжүүлэх зэрэг үйл ажиллагааг урьдчилан бичигдсэн логик дараалал болон дэд өртөөнд суурилуулсан тоноглолуудаас хүлээн авч цуглуулсан мэдээллүүдийн тусламжтайгаар диспетчерийн оролцоотой болон оролцоогүйгээр удирдах боломжтой болох юм.

ХУД-ийн 3-р хороонд хэрэглэгчийг хүчдэлгүй болсон дуудлагын дагуу дээрх дарааллаар ажиллан ойролцоогоор 135 минутын дараа хүчдэлтэй болгодог. Харин Түгээлтийн автоматжуулсан систем нэвтрүүлснээр хүчдэл тарсах дундаж хугацаа 3-6 минут болж буурснаар дараах үндсэн үзүүлэлтүүд дээшилж байна. Үүнд:

- 2872 хэрэглэгчийн тасрах хугацаа 45 дахин буурсан
- 8 хаалттай дэд өртөө, 3 кабель шугамыг шинэчилснээр тоноглолын гэмтэл буурч, насжилт уртсана
- Дутуу түгээсэн цахилгаан эрчим хүч 47 дахин буурна.
- Найдвартай ажиллагааны үзүүлэлт болох SAIDI 24 дахин, SAIFI 0.26% тохиолдлоор буурсан
- Ашиглалтын түвшин дээшилнэ.
- Хэрэглэгчийг тасралтгүй найдвартай ажиллагаа хангагдснаар сэтгэл ханамж дээшилнэ.
- 189 аж ахуйн нэгжийн үйл ажиллагаа доголдох, гологдол бүтээгдэхүүн гарах нөхцөл байдал буурч, тоног төхөөрөмжийн гэмтэл гарахгүй.

Түгээх сүлжээний автоматжуулсан системийн ажиллагааны үзүүлэн макет хийж сургалт, танилцуулгад ашиглаж байна.

#### D. Ухаалаг шилжүүлгийн пункт

Улаанбаатар хот болон бусад бүс нутагт шилжүүлгийн пункт нь ихэнх тохиолдолд ил болон хаалттай хуваарилах байгууламжийн бүтэцтэй цахилгаан тоноглолууд тус бүрдээ бие даасан өрөө тасалгаанд байдаг. Хаалттай хуваарилах байгууламжийн пункт нь цахилгаан эрчим хүчийг найдвартай дамжуулахаас гадна олон тооны үндсэн болон туслах тоноглолуудыг (энэ дотроо коммутацийн тоноглолыг) өөртөө агуулах бөгөөд ашиглалтын үед засвар үйлчилгээнд оруулахад тохиромжтой байдаг. Энэхүү техникийн шийд эл нь барилга угсралтын ажлын хугацаанд газар шороо, угсралт, тохируулгын ажилбар ихтэй, дагаад ил хуваарилах байгууламжийн хийцээс өндөр өртөгтэй болж байна.

Дээрх шилжүүлгийн төрлүүдээс түгээх сүлжээнд 6-35 кВ-ын шугамд хуурай салгууртай, хуурай салгуур таслуур /реклоузер/ бүхий шилжүүлгийн пунктгүй өргөн хэрэглэж байна.

Шилжүүлгийн пунктний угсралт хийцлэлд (ил суурилагдсан, байранд, тулгуурт) дараах тодорхой

хүчин зүйлсийн нөлөөллүүдээс хамаарч байдаг бөгөөд давуу талууд байдаг. Үүнд:

- Цаг уурын нөхцөл (бага температур, мөсжилт);
- Хүчдэлийн түвшин;
- Нийгдсэн системд дахь ШП-ийн байршил;
- Газрын үнэ, хотын ерөнхий төлөвлөгөөтэй нийцүүлсэн байдал, орон зай талбай;
- ШП-д тавигдаг захиалагчийн шаардлага;
- Барилга угсралт болон ашиглалт хялбар байх нөхцөл шаардлага;

**Цогц шийдэл:** ПАО <<МОЭКС>>-ийн захиалгаар ухаалаг шилжүүлгийн пунктгүйг (УШП) (Зураг-8) олон үет тулгуурт коммутацийн, хэмжүүрийн болон бусад тоног төхөөрөмжийг комплекс хэлбэрээр шийдсэн шилжүүлгийн пунктгүйг зохион бүтээсэн байна. Анхдагч болон хоёрдогч тоноглолыг хоёр хэсэг талбайд суурилуулсан ба үүний зэрэгцээ үйлчилгээний аюулгүй байдлыг бүрэн хангасан байна. Шинэ УШП нь хүн болон тоног төхөөрөмжийн аюулгүй байдлыг хангахаас гадна газар орон, орон зайн талбайг бага ашиглана.

Сүлжээнээс гэмтсэн кабелийг засварт оруулах, үүний зэрэгцээ УШП-ээр дамжуулан сэлгэн залгалт хийж удирдлагын сүлжээний найдвартай ажиллагааг хангахын тулд УШП-д алсын удирдлагатай гурван хуурай салгуурыг тулгуурт суурилуулж өгсөн байна. Хуурай салгууруудыг 110 кВ-ын хэлхээнд сэлгэн залгалт хийх явцад салгуурын контактуудын найдвартай байхаар тохируулсан байна. УШП-ийн хуурай салгуурын нөхцөл байдал, удирдлагын дамжуургыг диспетчер дурын байрлалаас компьютероос АСУТП – ээр дамжуулан удирдах боломжтой юм.



8-р зураг. Ухаалаг шилжүүлгийн пункт

Хуурай салгуурыг ашигласнаар кабель шугамын салбар гаргалга таслахад агаарын шугам, зэрэгцээ кабель-агаарын гаргалга зэргийг ажлаас гаргалгүй хүчдэлтэй байх нөхцөлийг бүрдүүлж өгсөн байна. Мөн хуурай салгуурын нөхцөл байдлыг камераар хянах боломжтой.

Кабелийн хэсэгт гарсан богино залгааны гэмтлийг тодорхойлох, илрүүлэхэд зөвхөн кабелийн өөрийн дифференциал хамгаалалтын системийг гүйдлийн оптик трансформаторыг гүйдэл дамжуулах хэсэгт шууд суурилуулан ашигласан байна. Трансформаторуудыг кабелийн муфтын оруулгад суурилуулснаар хамгаалалтын зонд мөн муфт орох боломжтой болж байна.

*Е. Дүгнэлт*

Цахилгаан дамжуулах агаарын шугам, кабель шугамын шилжүүлгийн пунктгүйг коммутац, удирдлага-хэмжүүрийн тоног төхөөрөмжөөр тоноглоно гэдэг бол инженерчлэлийн хувьд хүнд асуудал юм. Тиймээс дээрх асуудлыг ухаалаг иж бүрдэл шилжүүлгийн пунктээр шийдэх нөхцлийг бүрдүүлж хөгжүүлсэн байна. Шилжүүлгийн пунктгүйн байгууламжийн хийц бүтээц нь хотын өнгө төрөх, хүмүүсийн аюулгүй байдал, найдвартай ажиллагаа зэргийг хангаж байдаг.

Газрын өндөр үнэ, зай талбайн хомсдол зэргээс үзвэл олон үет тулгуурт коммутацийн, хэмжүүрийн болон бусад тоног төхөөрөмжийг комплекс хэлбэрээр шийдсэн шилжүүлгийн пунктгүйг ашиглах нь зүйтэй.

Эрчим хүчний хэрэглээ өдрөөс өдөрт өсөн нэмэгдэж байгаатай холбоотой агаарын болон кабель шугамын байгууламжид тавигдах шаардлага өндөр болж хуурай салгуур, таслуур, хэмжүүр удирдлагын систем зэрэг хүнд тоноглолууд суурилуулах болсон байна. Иймд дэрх шийдэл нь тулгуурт АШ-КШ-ын шилжүүлгийн пунктгүйн овор хэмжээ бага тоон системд суурилсан ухаалаг станц суурилуулснаар РХА, АПВ кабель шугам агаарын шугамын коммутацийг хангаж өгсөн байна.

Манай улсын 35-110 кВ-ын хүчдэлтэй сүлжээнд зай хэмжээ бага эзлэх, аюулгүй ажиллагаа хангах, ухаалаг шийдэл бүхий иж бүрдэл шилжүүлгийн пунктгүйг хэрэглэх нь тохиромжтой бөгөөд барилгажсан хэсэгт заавал дэд өртөөний ил хуваарилах байгууламжаас шилжүүлэхгүйгээр олон үет тулгуурын шийдлээр хүссэн цэгээс шилжүүлэх, ухаалаг системд нэвтрүүлэх ажлын нэг хэсэг болж хөгжүүлэхээр байна.

Дээрх ухаалаг шилжүүлгийн пунктгүйг нэвтрүүлснээр материалын зардал, найдвартай ажиллагааны үзүүлэлт, гэмтэл устгах хугацаа, нэг тасралтад хамрагдах хэрэглэгчийн тоо буурч, ашиглалтын түвшин найдвартай ажиллагаа дээшилнэ.

## АШИГЛАСАН НОМЫН ЖАГСААЛТ

- [1] Түгээх сүлжээний тоноглолын 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. Б.Мандах, Ж.Арслан “Цахилгаан хангамжийн реле хамгаалалт, автоматик”, УБ. 2006 он.
- [9] Ж.Бат-Эрдэнэ “Эрчим хүчний системийн реле хамгаалалт” УБ. 2016 он
- [10] УБЦТС ТӨХК-ийн 85 жилийн ойг тохиолдуулан зохион байгуулагдсан “Онол практик”-ийн бага хурлын илтгэлүүд, УБ 2017 он.
- [11] Цаг уурын өгөгдлийн сан <https://www.visualcrossing.com/>