



OPEN ACCESS

## \*CORRESPONDENCE

Tserendolgor Dugargaramjav

E-mail address:

ts\_dolgor@must.edu.mn

REVIEWED: November 12, 2024

ACCEPTED: December 23, 2024

PUBLISHED: December 29, 2024

## CITATION

Tserendolgor Dugargaramjav, Byambatsogt Pashka, Battulga Munkhbaatar, "Study of the Influence of Electromagnetic Fields on the Corrosion of District Heating Pipelines", Journal of Energy Transition, vol. 2, no. 1, pp. 15–21, Dec. 2024.

## COPYRIGHT

©2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

## Study of the Influence of Electromagnetic Fields on the Corrosion of District Heating Pipelines

Tserendolgor Dugargaramjav<sup>1\*</sup>, Byambatsogt Pashka<sup>1</sup>, Battulga Munkhbaatar<sup>1</sup><sup>1</sup>Department of Graduate Studies, School of Power Engineering, Mongolian University of Science and Technology, Ulaanbaatar, Mongolia

\*Corresponding author. E-mail address: ts\_dolgor@must.edu.mn

**Abstract-** One of the primary indicators influencing the dependability of the district heating system is the corrosion of the pipeline surface. This article presents the findings of measurements and tests conducted on the example of the heat supply system in our country. The effects of electromagnetic fields on the surface corrosion of heat pipelines located in the area intersecting with high voltage lines and along overhead power lines are discussed. In the contemporary era, ecological concerns, including those pertaining to electromagnetic ecology, have emerged as a significant area of focus within the domains of science, technology, and socioeconomics. The study of the impact of energy pollution factors has led to the development of electromagnetic safety norms and standards. However, at the current stage, there is a lack of unified norms and standards for electromagnetic ecological assessment. Results of measurements indicate that the electric field strength is 0.38-32.33 V/m, while the magnetic field strength is 0.07-11.56 A/m. The voltage of the electric field is directly proportional to the voltage of the conductor. At the measurement point near the overhead power line (at a height of 1 m above the heat transmission line), the maximum voltage was 32.33 V/m. However, since the voltage of the magnetic field is directly proportional to the current running through the electric conductor, the current flowing through the conductor on the output of the extension generator had the highest value, resulting in the maximum magnetic field voltage of 11.56 A/m, which indicates that the measurement is accurate.

**Key words** - AC corrosion, corrosion intensity, pipeline

## Дулааны Шугам Хоолойн Гадаргуун Зэврэлтэд Цахилгаан Соронзон Орны Нөлөөллийн Судалгаа

Цэрэндолгор Дугаргарамжав<sup>1\*</sup>, Бямбацогт Пашка<sup>1</sup>, Баттулга Мөнхбаатар<sup>1</sup><sup>1</sup>Эрчим Хүчний Сургууль, Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургууль, Улаанбаатар, Монгол улс)

\*Холбоо барих зохиогч. И-мэйл: ts\_dolgor@must.edu.mn

**Хураангуй-** Төвлөрсөн дулаан хангамжийн системийн найдвартай ажиллагаанд нөлөөлөх үзүүлэлтүүдийн нэг гол хэсэг нь шугам хоолойн гадаргуун зэврэлт юм. Энэхүү өгүүлэлд өндөр хүчдэлийн шугамтай огтлолцож байгаа хэсэгт болон цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын дагуу байрласан дулааны шугам хоолойн гадаргуун зэврэлтэд цахилгаан соронзон орны нөлөөлөл ямар байгааг манай орны дулаан хангамжийн системийн жишээн дээр хийсэн хэмжилт, туршилтын үр дүнг толилуулна. Орчин үед экологийн, тэр дундаа цахилгаан соронзон экологийн асуудал шинжлэх ухаан технологийн хувьд болон нийгэм эдийн засгийн хүрээнд чухал тулгамдсан сэдвийн нэг болоод байна. Эрчим хүчний бохирдлын хүчин зүйлийн нөлөөллийн судалгаанд цахилгаан соронзон аюулгүй байдлын норм, стандарт ашигладаг. Өнөөгийн түвшинд цахилгаан соронзон экологийн үнэлгээний нэгдсэн норм, стандарт харахан байхгүй байна. Бидний хэмжилтийн үр дүнд цахилгаан орны хүчлэг 0.38-32.33 В/м, соронзон орны хүчлэг 0.07-11.56 А/м байна. Цахилгаан орны хүчлэг нь дамжуулагчийн хүчдэлээс шууд пропорциональ хамааралтай байх бөгөөд цахилгаан дамжуулах агаарын шугам руу ойр байрлах хэмжилтийн цэгт (дулаан дамжуулах шугамаас дээш 1м өндөрт) хамгийн их буюу 32.33 В/м гарсан. Харин соронзон орны хүчлэг цахилгаан дамжуулагчаар гүйж буй гүйдлээс шууд пропорциональ хамааралтай байх тул өргөтгөлийн генераторын гаргалга дээрх дамжуулагчаар гүйх гүйдэл нь хамгийн их утгатай байсан тул тухайн орчинд хийсэн хэмжилт соронзон орны хүчлэг хамгийн их буюу 11.56 А/м байсан ба энэ нь хэмжилт үнэн зөв болохыг илтгэж байна.

**Түлхүүр үг** - Дулааны шугам хоолой, хувьсах гүйдлийн улмаас үүсэх зэврэлт, зэврэлтийн эрчим

## I. ОРШИЛ

Орчин үед экологийн, тэр дундаа цахилгаан соронзон экологийн (ЦСЭ) асуудал шинжлэх ухаан технологийн хувьд болон нийгэм эдийн засгийн хүрээнд чухал тулгамдсан сэдвийн нэг болоод байна. Эрчим хүчний бохирдлын хүчин зүйлийн нөлөөллийн судалгаанд цахилгаан соронзон аюулгүй байдлын норм, стандарт ашигладаг. Өнөөгийн түвшинд ЦСЭ-ийн үнэлгээний нэгдсэн норм, стандарт хараахан байхгүй байна. Манай орны эрдэмтэн судлаачид Д.Содномдорж нар “Орчны цахилгаан соронзон долгионы бохирдлын төлөв байдлын судалгаа” бүтээлдээ Улаанбаатар хотын хүн амын нягтрал ихтэй нийтийн үйлчилгээний газрууд болон цахилгаан эрчим хүчний 110/35/10 кВ-ын болон 35/10 кВ-ын дэд станцууд, 110, 35 кВ-ын өндөр хүчдэлийн цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын орчинд цахилгаан соронзон орны (ЦСО) хүчлэгүүд ба орчны агаарын чанарын үзүүлэлтүүдийн дүн шинжилгээг анх удаа Монголдоо судалж, зохих дүгнэлт, зөвлөмжүүдийг гаргасан [1].

Төвлөрсөн дулаан хангамжийн системийн найдвартай ажиллагаанд нөлөөлөх үзүүлэлтүүдийн нэг гол хэсэг нь шугам хоолойн гадаргуун зэврэлт юм. Дулааны шугам хоолойн гадаргуун зэврэлтийн ангилал, нөлөөллийн хүчин зүйл, тэр дундаа цахилгаан соронзон орны нөлөөллийн талаар эрдэмтэн судлаачид өөрсдийн бүтээлдээ олонтоо туурвисан байдаг. Жишээ нь, Оссама Е. Гоуда нар өндөр хүчдэлийн агаарын шугамын дагуух болон өндөр хүчдэлийн шугамтай огтлолцож байгаа хэсэгт хий дамжуулах хоолойн гадаргуун зэврэлтэд цахилгаан соронзон орны нөлөөлөл их байгааг туршилт, тооцооллоор баталсан [2]. Харин дулаан хангамжийн системийн хувьд шугам хоолойн гадаргуун зэврэлтийн шалтгааны талаар багагүй мэдээлэл, судалгааны ажлууд байдаг ч цахилгаан соронзон орны нөлөөллийг судалсан ажил ховор байна [3-6]. Энэхүү өгүүлэлд өндөр хүчдэлийн шугамтай огтлолцож байгаа хэсэгт болон шугамын дагуу байрласан дулааны шугам хоолойн гадаргуун зэврэлтэд цахилгаан соронзон орны нөлөөлөл ямар байгааг манай орны дулаан хангамжийн системийн жишээн дээр хийсэн хэмжилт, туршилтын үр дүнг толилуулна.

## II. СУДАЛГААНЫ АРГАЧЛАЛ

Цахилгаан соронзон долгионы параметруудийн хэмжээг тодорхойлохдоо ажиглалтын, харьцуулалтын, хэмжилт-тооцооллын аргуудыг хэрэглэсэн болно.

### A. Шугам хоолойн зэврэлтэд цахилгаан соронзон орны үзүүлэх нөлөөлөл

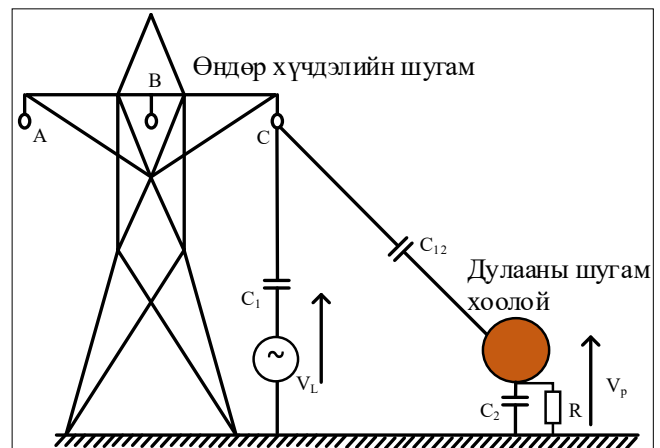
Цахилгаан соронзон орноос дулааны шугам хоолойн гадаргуун зэврэлтэд үзүүлэх гол нөлөөллүүдийг дурдвал:

#### 1. Хувьсах гүйдлийн улмаас үүсэх зэврэлт. Хувьсах гүйдлийн улмаас хүрээлэн буй орчинд ионуудын

хөдөлгөөн нь зэврэлтийг хурдасгаж, хоолойг гэмтээхэд хүргэдэг.

2. *Зэврэлтийн эрчим:* ЦСО-ны эх үүсвэртэй ойр байх нь зэврэлт үүсэх магадлал, цооролтыг нэмэгдүүлдэг.
3. *Материалын мэдрэмтгий байдал.* Материалын шинж чанар, хүрээлэн буй орчинтой зохицох чадварыг тодорхойлох нь хоолойн зэврэлтэд ЦСО-ны боломжит нөлөөллийг үнэлэхэд чухал ач холбогдолтой юм.
4. *Дулаалгын бүрхүүлийн бүрэн бүтэн байдал.* Хамгаалалтын бүрээс нь хоолой ба хүрээлэн буй орчны хооронд тусгаарлаж зэврэлтээс урьдчилан сэргийлэхэд чухал үүрэг гүйцэтгэдэг. Гэхдээ ЦСО нь бүрхүүлийг гэмтээх эсвэл индукцийн гүйдлийн нөлөөгөөр бүрхүүлийг хөндийрүүлж, хоолойн гадаргууд зэврэлт үүсгэдэг.
5. *Катодын хамгаалалт.* Хувьсах гүйдэл нь хоолойд шаардлагатай туйлширсан потенциалыг алдагдуулж, зэврэлтийг багасгах катодын хамгаалалтын ажиллах чадварыг бууруулдаг.

ЦСО-ны хоолойн зэврэлтэд үзүүлэх нөлөөллийг бууруулахын тулд янз бүрийн хамгаалалтын арга хэмжээг хэрэгжүүлж болох бөгөөд үүнд ЦСО-ны эсэргүүцлийг нэмэгдүүлэхийн тулд хамгаалалтын бүрээсийг оновчтой сонгох, индукцийн гүйдлийн нөлөөллийн үед катодын хамгаалалтын системийн найдвартай ажиллагааг хангах, цахилгаан холбоо ба газардуулгын системийн нөлөөллийн гүйдлийг хянах, хэмжээг хэрэгжүүлэх зэрэг багтана.



Зураг 1. Дулааны төв шугам болон генераторын гаргалгын цахилгаан дамжуулах шугамтай огтлолцож буй байршил

Цахилгаан дамжуулах агаарын шугамаас дулааны шугам хоолойн гадаргууд үйлчлэл үзүүлэх хүчдэлийн хэмжээ нь хэд хэдэн хүчин зүйлээс хамаарна, тухайлбал (Зураг 1):

- Тулгуурын төрөл;
- Цахилгаан дамжуулах шугамаас алслагдсан байдал;
- Цахилгаан дамжуулах шугамын хүчдэлийн түвшин ба түүний геометр хэмжээс зэрэг хамаарна.

Хувьсах гүйдэл нь дулаан дамжуулах шугам хоолойн гадаргуун зэврэлтэд нөлөөлөх процесс бүрэн судлагдаагүй ч хувьсах гүйдлийн нягт ба дамжуулах хоолойн зэврэлтийн хурд хоёрын хоорондын хамаарлыг эрдэмтэд олж тогтоосон байдаг. Зэврэлт үүсгэх хувьсах гүйдлийн нягтын босго утгыг дараах байдлаар авч үздэг:

$$I_{ac} < 20 \frac{A}{m^2}; \text{ зэврэлт үүсгэхгүй;}$$

$$20 \frac{A}{m^2} < I_{ac} < 100 \frac{A}{m^2}; \text{ зэврэлт үүсгэх магадлалтай;}$$

$$I_{ac} < 100 \frac{A}{m^2}; \text{ зэврэлт үүсгэх магадлал өндөр.}$$

Энд:  $I_{ac}$  - хувьсах гүйдлийн нягт ( $A/m^2$ ).

Сүүлийн үеийн судалгаагаар (олон улсын NACE стандарт SP21424 -2018), хувьсах гүйдлийн зэврэлт үүсгэх эсэхийг тодорхойлох өөр нэг шалгуур нь хувьсах гүйдлийн нягт катодын хамгаалалтын системээс ирж буй тогтмол гүйдлийн нягт хоёрын хамаарал дээр тулгуурлаж байна [7-8].

### В. Цахилгаан соронзон орны хүчлэгийн тооцооллын аргачлал

110 кВ-ын цахилгаан дамжуулах агаарын шугамын (ЦДАШ) тулгуурын геометр үзүүлэлтүүд (У-110-1+9 маягийн тулгуур): тулгуурын газрын гадаргуугаас дээд талын траверс хүртэлх зай  $h_1 = h_3 = 19.5$  м,  $h_2 = 23.5$  м;  $d_1 = d_2 = 3.5$  м,  $d_3 = 5$  м фазуудын утасны бэхлэлтийн траверсын тулгуурын тэнхлэгээс бэхлэлтийн цэг хүртэлх зай. Фазын утасны марк АС-120/19. Утасны радиус  $a = 15.2$  мм.

ЦСО-ны хүчлэгийн тооцоог хэмжилт хийх цэгт газрын гадаргуугаас  $z_0 = 0, 1, 2, 4$  метрийн өндөрт гүйцэтгэнэ. Үйлдвэрийн  $f = 50$  Гц давтамжтай ЦДАШ-ын нэгж урттай  $i$  дүгээр утаснаас  $r$  зайд байрлах цэгт  $i$  дүгээр утасны үүсгэх цахилгаан орон  $E_i$  ба түүний толин тусгалын оронг  $E'_i$  дараах байдлаар тодорхойлно [9]:

$$E_i(r) = \frac{q_i}{2\pi\epsilon_0 r}; \quad E'_i(r) = \frac{q_i}{2\pi\epsilon_0(2h_i - r)}, \quad (1)$$

Энд:  $q_i - i$  дүгээр дамжуулагчийн эквивалент цахилгаан цэнэг;  $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м – агаарын цахилгаан тогтмол;  $h_i - i$  тулгуурын газрын гадаргуугаас дээд талын траверс хүртэлх зай, м.

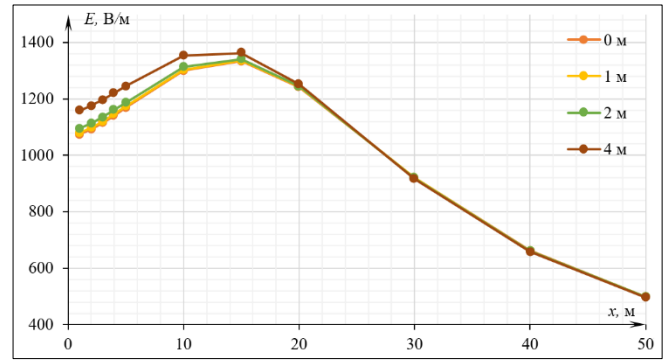
Нэгдүгээр фазын утасны бодит болон толин тусгалын үүсгэх нийлбэр цахилгаан орон:

$$|\vec{E}_i + \vec{E}'_i| = \sqrt{(E_i)^2 + (E'_i)^2 + 2E_i E'_i \cos \psi}$$

болон ба математик хувиргалт хийвэл:

$$E_{i\Sigma} = \frac{U_\phi \cdot e^{j(i-1)120^\circ}}{\ln \frac{2h_i}{a}} \sqrt{\frac{(x-d_i)^2 + z_0^2}{(x-d_i)^4 + 2(x-d_i)^2(h_i^2 + z_0^2) + (h_i^2 - z_0^2)^2}} \quad (2)$$

Энд:  $a - i$  утасны радиус, м,  $U_\phi$ - потенциалын ялгавар.



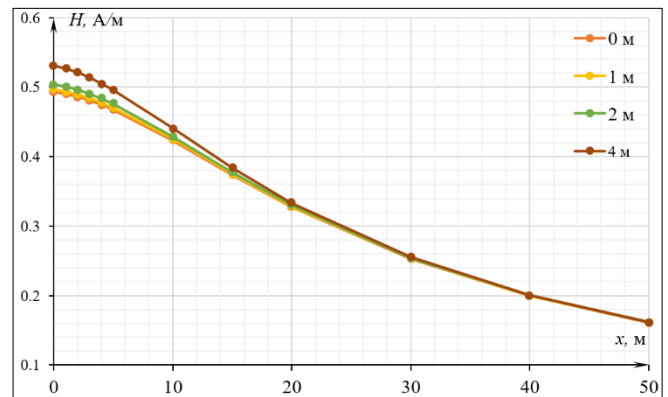
Зураг 2. 110 кВ-ын ЦДАШ-ын цахилгаан орны хүчлэгийн график

Одоо бид томъёо (2)-д 110 кВ-ын шугамын параметруудийг тавьж  $x = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20$  м зайд  $z_0$  -ын бүх утгад бодож үр дүнг график байдлаар зураг 2-д харуулъя.

Соронзон орны хүчлэгийг дараах томъёогоор тодорхойлно.

$$H_{i\Sigma} = \frac{l \cdot e^{j(i-1)120^\circ}}{\pi} \sqrt{\frac{(x-d_i)^2 + z_0^2}{(x-d_i)^4 + 2(x-d_i)^2(h_i^2 + z_0^2) + (h_i^2 - z_0^2)^2}} \quad (3)$$

Энд:  $l - i$  тулгуурын тэнхлэгээс ажиглалтын цэг хүртэлх зай, м.



Зураг 3. 110 кВ-ын ЦДАШ-ын цахилгаан соронзон орны хүчлэгийн график

35 кВ-ын шугамын параметруудийг томъёо (3)-д тавьж, гүйдлийн тодорхой утгад  $z_0 = 0, 1, 2, 4$  метрийн өндөрт  $x = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20$  м зайд бодолт хийж үр дүнг зураг 3 –д харуулав.

Монгол улсын нутаг дэвсгэр дээрх 220, 110 кВ-ын цахилгаан дамжуулах шугамуудад цахилгаан соронзон орны хэмжилт, судалгааны ажлууд нэлээд бий [9]. Эдгээр судалгааны ажлуудад өндөр хүчдэлийн шугамын эрүүл ахуй хамгаалалтын мужлал дотор соронзон орны хүчлэг нь бүх тохиолдолд 2.0 мкТл-аас хэтрэхгүй гарч байгаа боловч Дэлхийн эрүүл мэндийн байгууллагын зөвлөмжид



заасан 0.3-0.4 мкТл гэсэн зөвшөөрөөгдөх зайгаас их гарч байгааг анзаарах хэрэгтэйг дурдсан байдаг.

### III. СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН БА ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Судалгааны объект нь Дархан хотын 800 мм голчтой дулаан дамжуулах төв шугам. Тус шугам нь Дархан ДЦС-ын хашаан дотор генераторын гаргалгын цахилгаан дамжуулах шугам доогуур огтлолцон өнгөрдөг. Зураг 4-д огтлолын цэгүүдийг үзүүлэв.

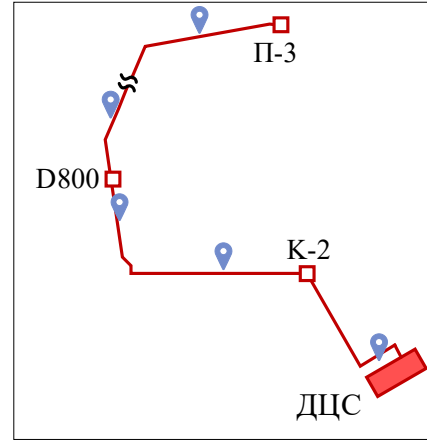
Цахилгаан генераторын гаргалга доор хийсэн хэмжилтээс харахад (зураг 4) цахилгаан орны хүчлэг 0.38-32.33 В/м, соронзон орны хүчлэг 0.07-11.56 А/м байна. Цахилгаан орны хүчлэг нь дамжуулагчийн хүчдэлээс шууд пропорциональ хамааралтай байх бөгөөд цахилгаан дамжуулах агаарын шугам руу ойр байрлах хэмжилтийн цэгт (дулаан дамжуулах шугамаас дээш 1м өндөрт) хамгийн их буюу 32.33 В/м гарсан. Харин соронзон орны хүчлэг цахилгаан дамжуулагчаар гүйж буй гүйдлээс шууд пропорциональ хамааралтай байх тул өргөтгөлийн генераторын гаргалга дээрх дамжуулагчаар гүйх гүйдэл нь хамгийн их утгатай байсан тул тухайн орчинд хийсэн хэмжилт соронзон орны хүчлэг хамгийн их буюу 11.56 А/м байсан ба энэ нь бидний хэмжилт үнэн зөв болохыг илтгэж байна.



Зураг 4. Дулааны төв шугам болон генераторын гаргалгын цахилгаан дамжуулах шугамтай огтлолцож буй байршил

### A. Цахилгаан орон болон цахилгаан соронзон орны тооцооллын үр дүн

Дархан хотын дулаан хангамжийн дулааны төв шугамын дагуу нийт 60 цэг дээр хэмжилт хийсэн ба хэмжилт хийсэн хэсгийн байршлыг зураг 5-д харуулав.



Зураг 5. Хэмжилт хийсэн дулааны шугамын байршил

Дулааны төв шугамын дагуу хийсэн хэмжилтээс (зураг 5) харахад цахилгаан орны хүчлэг  $1.677 \div 1049$  В/м, соронзон орны хүчлэг  $0.018 \div 0.428$  А/м байна. Тухайн дулаан дамжуулах шугам хоолойн орчинд цахилгаан орны хүчлэг ихэнхдээ  $1.677 \div 14.92$  В/м, соронзон орны хүчлэг  $0.018 \div 0.069$  А/м байгаа бол өндөр хүчдэлийн цахилгаан дамжуулах шугамтай огтлолцож буй хэсэгт ЦО хүчлэг 1049 В/м, соронзон орны хүчлэг 0.428 А/м-т хүрсэн байна.

Цахилгаан соронзон орны нөлөөллийн хэмжилт туршилтыг ANSI Standard C95.1 стандартаар баталгаажуулсан орчин үеийн HI-3603 Survey meter, HI-3604 Survey meter багажууд ашиглан хийж гүйцэтгэсэн. HI-3604 Survey meter багажийг 6-р зурагт үзүүлэв.



Зураг 6. HI-3604 Survey meter багаж

Дулаан дамжуулах шугамын металлын гадаргууд үзүүлэх нөлөөлөл тэр дундаа зэврэлтэд үзүүлэх нөлөөлөл талаас авч үзвэл:



- Дулааны төв шугамын орчинд урт хугацааны туршид өндөр идэвхжил бүхий цахилгаан ба соронзон орны идэвхжил өндөр байх үед металлын гадаргуу цахилгаан химийн урвалд орж гадна талаас хонхойх, аажимдаа цоорох процесс явагдана. Харин бидний хэмжилтийн үр дүнгээс харахад цахилгаан ба соронзон орны идэвхжил дулааны шугамын орчинд харьцангуй бага байгаа бөгөөд өөрөөр хэлбэл металлын гадаргууд үзүүлэх сөрөг нөлөөлөл байхгүй гэж үзэж байна.

Мөн дулаан дамжуулах шугамын металлын гадаргууд үүссэн зэврэлт нь металлын гадаргуу дээрх процессын (хонхойх) үйлчлэл байхгүй байгаа нь металлын шинжилгээнээс харагдсан ба энэ нь цахилгаан ба соронзон орны нөлөөлөл гэхээс илүү дулаан дамжуулах шугамын дулаалгын материал болон гадаргууд наалдах чанар зэргээс хамааралтай байж болох юм.

*В. Дулааны шугам хоолойн гадна үзлэг ба сорьцийн шинжилгээний үр дүн*

Дулааны шугам хоолойн гадна талд тогтсон зэврэлтийн бүтээгдэхүүн болох хаг нь ихэвчлэн шугамын гадна талын дулаалга муудсан, ан цав гарсан үед түүний завсраар хур борооны ус болон цас нэвтрэн орж улмаар металлын гадна талд температурын нөлөөгөөр төмрийн ислийн хагийг үүсгэнэ. Хэдийгээр хагийн доорх гадаргууд гадна талаасаа металлыг элэгдэлд оруулж зэврүүлээгүй ч удаан хугацааны туршид энэхүү тогтсон хаг нь зэврүүлэх шинжийг үзүүлнэ. Шугамын гаднаас авсан хагийн шинж байдлыг 7-р зурагт үзүүлэв.

Хагийн шинж байдлаас үзэхэд соронзон чанартай төмрийн исэл давамгайлж байгаа нь харагдсан тул түүний дээжид рентген Х-цацрагийн багажаар найрлагыг тодорхойлох шинжилгээг хийсэн бөгөөд үр дүнг 8-р зурагт үзүүлэв. Шинжилгээний үр дүнгээс харахад төмөр 96.03%, 2.05 % нь зэс, 1,16 % нь цахиур, 0.33 % нь цайр, цагаан тугалга 0.117 % нь байна.



Зураг 7. Дулааны шугам хоолойн гадна талд тогтсон зэврэлтийн бүтээгдэхүүн

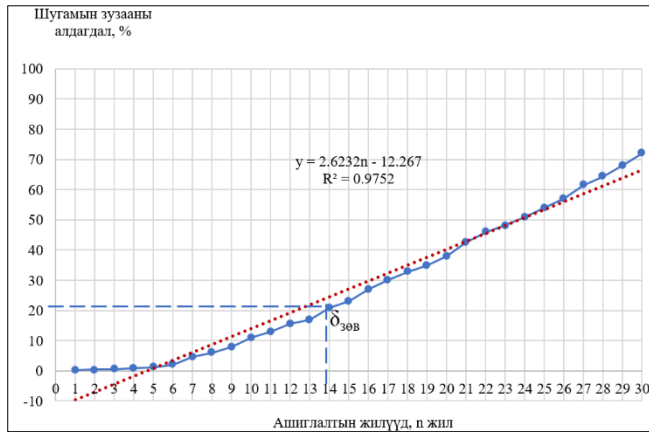


Зураг 8. Дулааны төв шугам хоолойн гадна талын зэвийн идэгдэлт болон хагийн химийн найрлага

Дулааны шугам хоолойн дулаалгын материал доогуур ус чийг агаар нэвчсэнээс шүүрэлтээр бохирдогдож усанд агуулагдах төмрийн нэгдлүүд агаартай шүргэлцсэний улмаас магнетит давамгайлсан төмрийн ислийн хагийг үүсгэсэн байна. Энэхүү хаг нь шугам хоолойн гадна гадаргууг хальс байдалтайгаар бүрхэн жигд бус тогтсон бөгөөд хагийн зузаан нь 3-6 мм байв.

Хоолойн зэврэлтийн процессын дүнд халуун чийглэг орчин доторх чөлөөт устөрөгчийн хэмжээ нэмэгдэн, металлын гангийн нүүрстөрөгчтэй харилцан үйлчилж метан үүсгэснээр хоолойн металлын бүтцийг өөрчлөн хэврэгшилд оруулж гэмтээх шинж чанарыг үзүүлдэг. Энэхүү магнетитийн хаг нь тусгаарлагч материалын нягт бус хэсэг болон залгаас хоорондын завсар, металлтай нягт барьцалдаагүй хэсгээр температурын нөлөөгөөр үүссэн хөлрөлт, чийг, хур бороо зэрэг нөхцөлөөс үүссэн усан дуслууд дахь хийн идэмхий үйлчлэлээс хоолойн ханыг тусгаарлан, зэврэлтээс хамгаалах хэдий ч маш хэврэг, хөвсгөр шинжтэй байдаг. Иймээс тодорхой хугацааны дараа дулааны шугам хоолойн шугамыг гадна талаас нь зэврэлтэд оруулах үйлчлэл үзүүлнэ. Ялангуяа магнетитийн хагийн хэврэгшилд, эвдрэх шинж нь орчны химийн шинж чанар, температураас ихээхэн хамаарна.

Судалгааны явцад шугам хоолойн гадна талд үүссэн магнетитийн хаг цаашид түүний ашиглалтын хугацаанаас хамааран шугам хоолойн металлын зэврэлтийн байдалд хэрхэн нөлөөлж, ханын зузааныг гаднаас нь бууруулах урьдчилан таамагласан тооцоог шугамын ашиглалтын хугацааны 30 жилээр гүйцэтгэж зураг 9-д үзүүлэв. Энэхүү таамаглалын симуляц нь хэмжилт хийсэн 2023 оноос хойш байгуулалт хийсэн тооцооллын үр дүн болно. Зургаас харахад, сүлжээний шугам хоолойн ашиглалтын эхний 5-н жил дотор магнетитийн хагийн эвдрэлээс үүссэн хоолойн гадна талын зэврэлтийн нөлөөлөл үүсэхгүй байна. Ашиглалтын 14 дэх жилд дулааны шугам хоолойн ханын зузааны нимгэрэлт зөвшөөрөгдөх хамгийн их утгадаа хүрч цаашид нэмэгдсээр ашиглалтын 23 дахь жилд шугам хоолойн ханын зузаан 50% хүртэл нимгэрнэ гэсэн таамаглал харагдаж байна.



Зураг 9. Дулааны шугам сүлжээний шугам хоолойн гадна ханын зузааны нимгэрэлт, %

Металлын шинжилгээнээс харахад, дулааны төв шугам хоолойнуудад хийсэн гадна үзлэг шалгалтаар хуучин ашиглагдаж байгаад солигдсон шугам хоолой нь гадна болон дотор талаасаа их хэмжээгээр зэвд идэгдэж ханын зузаан нь нимгэрсэн бөгөөд цэгэн зэврэлтийн гүн нь 31% буюу зөвшөөрөгдөх хэмжээнээс хэтэрсэн байна. Одоо ашиглагдаж байгаа Ø820x10мм хэмжээтэй шугам хоолойн өгөх, буцах талын шугам хоолойнууд нь нэлэнхийдээ зэвд тодорхой хэмжээгээр идэгдсэн бөгөөд цэгэн зэврэлт нь эхлэл төдий байна (зураг 8).

#### IV. ДҮГНЭЛТ

Дулаан хангамжийн системийн шугам хоолойн гадаргуун орчинд урт хугацааны туршид цахилгаан ба соронзон орны идэвхжил өндөр байх үед металлын гадаргуу цахилгаан химийн урвалд орж гадна талаас хонхойх, аажимдаа цоорох процесс явагдах нь ажиглагдсан.

Хэмжилтийн үр дүнгээс харахад, цахилгаан генераторын гаргалга доор хийсэн хэмжилтэд цахилгаан орны хүчлэг 0.38-32.33 В/м, соронзон орны хүчлэг 0.07-11.56 А/м байна. Цахилгаан орны хүчлэг нь дамжуулагчийн хүчдэлээс шууд пропорциональ хамааралтай байх бөгөөд цахилгаан дамжуулах шугамд ойр байрлах хэмжилтийн цэг буюу дулаан дамжуулах шугам хоолойгоос дээш 1м өндөрт байрлах цэгт хамгийн их буюу 32.33 В/м гарсан. Харин соронзон орны хүчлэг цахилгаан дамжуулагчаар гүйж буй гүйдлээс шууд пропорциональ хамааралтай байх тул өргөтгөлийн генераторын гаргалга дээрх дамжуулагчаар гүйх гүйдэл нь хамгийн их утгатай байсан тул тухайн орчинд хийсэн хэмжилт соронзон орны хүчлэг хамгийн их буюу 11.56 А/м байсан ба энэ нь бидний хэмжилт үнэн зөв болохыг илтгэж байна.

Тухайн судалгааны ажлаар Дархан хотын төвлөрсөн дулаан хангамжийн системийн дулааны шугам хоолойн гадаргуун зэврэлт, түүний үүсэж буй шалтгаан болон сүлжээний усны чанар, шугам хоолойн гадаргуун дулаалгын төлөв байдлын цогц судалгаа хийгдсэн болно.

Энэхүү өгүүлэлд зөвхөн дулааны шугам хоолойн гадаргуун зэврэлтэд нөлөөлж болзошгүй цахилгаан соронзон орны нөлөөллийг авч үзлээ.

#### ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааг хийж гүйцэтгэхэд дэмжлэг, туслалцаа үзүүлж ажилласан судалгааны багийн хамт олон, “Дархан Дулааны Сүлжээ” ТӨХК-ийн инженер, техникийн ажилтнууд, Металл Судлал Лабораторийн хамт олонд гүн талархал илэрхийлье.

#### НОМ ЗҮЙ

- [1] B. Bat-Erdene, M. Battulga and G. Tuvshinzaya, "Method Of Calculation Of Low-Frequency Electromagnetic Field Around 15 kV Transmission Lines," IEEE International Conference on Power and Energy (PECon), pp. 40-43, Penang, Malaysia, 2020, <https://doi.org/10.1109/PECon48942.2020.9314436>
- [2] Ossama E. Gouda et al., “Effect of the electromagnetic field of overhead transmission lines on the metallic gas pipe-lines”, Electric Power Systems Research vol. 103, pp. 129-136, 2013, <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2013.05.002>
- [3] Пантелей Н.В., “Оценка состояния и анализ повреждаемости трубопроводов тепловых сетей”, Энергетика 2 (2018), стр. 179-188, <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2018-61-2-179-188>
- [4] Чуклин Д.В., “Электрокоррозия тепловых сетей”, Новости теплоснабжения, 12 (184), 2015
- [5] Гасанов З.С., “Электрохимическая коррозия при протеканий токов утечки”, Инновационная наука, 1 (2023), ISSN 2410-6070
- [6] Чичерин С.В., “Новая методика определения степени коррозионного поражения элементов трубопроводного транспорта”, Известия, 327-12 (2016), стр. 110-116
- [7] “Mitigation of Alternating Current and Lightning Effects on Metallic Structures and Corrosion Control Systems”, SP0177-2019
- [8] “Alternating Current Corrosion on Cathodically Protected Pipelines: Risk Assessment, Mitigation, and Monitoring”, SP21424-2018
- [9] Sodnomdorzh, D., B. Bat-Erdene, and M. Battulga. "Method for Determining the Low-Frequency Electromagnetic Field Around Power Lines." Common Information about the Journal A&SE (2020)

Зохиогчид

**Дугаргарамжавын Цэрэндолгор**



Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургуулийн (ШУТИС) Эрчим Хүчний Сургуулийн (ЭХС) Инженерийн ахисан түвшний салбарын эрхлэгч, МУ-ын зөвлөх инженер, Техникийн ухааны доктор (PhD), дэд профессор.

ЭХС-ийг Дулааны цахилгаан станцын ашиглалт мэргэжлээр бакалавр, магистрын зэрэгтэй төгссөн. 2011 онд Өмнөд Солонгосын Чонбук Үндэсний Их Сургуульд техникийн ухааны докторын зэрэг хамгаалсан.

Судалгааны ажлын чиглэл: дулааны тоног төхөөрөмжийн үр ашгийн түвшний үнэлгээ, дулаан хангамж, эрчим хүч хэмнэлт ба энергоаудит. Цахим хаяг: [ts\\_dolgor@must.edu.mn](mailto:ts_dolgor@must.edu.mn)

**Пашкын Бямбацогт**



Техникийн ухааны доктор (PhD), МУ-ын зөвлөх инженер, Монголын залуу эрдэмтдийн холбооны Удирдах зөвлөлийн гишүүн, МЗЭХ-ний Технологи инновац залуу судлаачдын нийгэмлэгийн тэргүүн, ШУТИС-ийн Дулааны хэрэглээний дэвшилтэт техник технологийн судалгааны төвийн захирал. 2005 онд ШУТИС, Эрчим

хүчний инженерийн сургуулийн Үйлдвэр хотын дулаан хангамжийн мэргэжлээр “Шугамын дулааны алдагдлыг тодорхойлох аргачлал” сэдвээр магистрын зэрэг хамгаалсан. 2011 онд ОХУ-ын Новосибирск хотын Новосибирскийн техникийн их сургуульд “Дулааны цахилгаан станц ба дулааны насосын хосолмол дулаан хангамжийн системийн үр ашиг” сэдвээр докторын зэрэг хамгаалсан. Дулаан хангамжийн системийн горим тохируулга, үр ашиг дээшлүүлэх. Сэргээгдэх эрчим хүчийг дулаан хангамжид ашиглах, Хаягдал боловсруулах, дахин ашиглах чиглэлээр судалгаа хийж байна.

Цахим хаяг: [p.byambatsogt@gmail.com](mailto:p.byambatsogt@gmail.com)

**Мөнхбаатарын Баттулга**



Техникийн ухааны доктор (Ph.D), дэд профессор. ШУТИС-ЭХСШинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургууль, Эрчим хүчний сургуулийн Цахилгаан техникийн салбарын хөтөлбөр хариуцсан дэд профессор. 2010, 2012 онуудад Шинжлэх Ухаан Технологийн Их

Сургуулийн Эрчим хүчний сургуулийг Цахилгаан системийн автоматжуулалт мэргэжлээр бакалавр, магистрын зэрэгтэй төгссөн. 2020 онд ШУТИС-д “Эрчим хүчний объектууд ба нийтийн үйлчилгээний гадруудын орчны цахилгаан соронзон орны судалгаа” сэдвээр техникийн ухааны докторын зэрэг хамгаалсан. Орчны цахилгаан соронзон бохирдол, эрчим хүчний чанар, тоон реле хамгаалалт, автоматикийн чиглэлээр судалгааны ажил хийдэг.