

ARTICLES

ХҮЧНИЙ ТРАНСФОРМАТОРЫН ЭВДРЭЛ ГЭМТЭЛ,
ТҮҮНИЙГ ОНОШЛОХ АРГА ЗҮЙ

О.Чинбат

Цахилгаан хангамж, электроникийн тэнхим,
Техник технологийн дээд сургууль, Монгол улс

Хүлээн авсан: 2018.03.05; Хянасан: 2018.03.27; Хэвлэгдсэн: 2018.04.03

ХУРААНГУЙ

Хэрэглэгчийн найдвартай цахилгаан эрчим хүчээр хангах явдал нь хүчний трансформаторын хэмжилт оношлогооноос шууд хамааралтай байдаг. “Эрдэнэт үйлдвэр” ХХК-ийн хүчний трансформаторын ашиглалтын судалгаанаас харахад нийт сул зогсолтын 30% нь трансформаторын эвдрэл, гэмтэл эзэлж байна. Эвдрэл, гэмтэл болон хүчний трансформаторын найдвартай ажиллагааны үндсэн дээр хүчний трансформаторын гэмтлийн оношлогоог сүүлийн үеийн дэвшилтэт технологи болох зайн оношлогооны орчин үеийн аргачлалыг бүтээлчээр нэвтрүүлэх явдал юм.

Түлхүүр үг: Температур; цахилгаан; механик; ашиглалт; тусгаарлал;

ОРШИЛ

Монгол улсын эдийн засгийн нэг гол тулгуур нь уул уурхай, эрчим хүчний салбар юм. Уул уурхайн салбарын тэргүүлэх үйлдвэр “Эрдэнэт үйлдвэр” ХХК-ийн хувьд эцсийн бүтээгдэхүүн үйлдвэрлэх, үйлдвэрийн үр ашгийг нэмэгдүүлэх, үйлдвэрийн жигд тасралтгүй, найдвартай тогтвортой үйл ажиллагаа хангах асуудал нь цахилгаан хангамж түүний дэд системийн бүрэлдэхүүн болох хүчний трансформаторын ашиглалтаас шууд хамааралтай байна.

Хүчний трансформаторын эвдрэл

гэмтэл найдвартай ажиллагааны үндсэн дээр хүчний трансформаторын оношлогоог сүүлийн үеийн дэвшилтэд технологи болох нил улаан туяаны багажаар хэмжилт хийх нь цахилгаан хангамжийн найдвартай ажиллагаа дээшлэх ба эдийн засгийн хувьд үр ашигтай болох юм.

Судалгааны зорилго, зорилт: Орчин үеийн зайн оношлогооны дэвшилтэт арга технологийг ашиглан “Эрдэнэт үйлдвэр” ХХК-ийн хүчний трансформаторын техникийн байдлыг оношлох, сайжруулах арга замыг тодорхойлоход оршино.

*corresponding author: chinbat.o@iet.edu.mn



The Author(s). 2018 Open access This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made.

Зорилгоо хэрэгжүүлэхийн тулд хэд хэдэн зорилгыг дэвшүүлэв. Үүнд:

- Хүчний трансформаторын уламжлалт хэмжилт оношлогооны аргыг судлах,
- “Эрдэнэт үйлдвэр”ХХК-ийн хүчний

трансформаторын ашиглалтын байдлыг судлах,

- “Эрдэнэт үйлдвэр”ХХК-ийн хүчний трансформаторт хийсэн судалгаааны үр дүнг тодорхойлоход оршино.

МАТЕРИАЛ, АРГА ЗҮЙ

Судалгаааны талбай нь Эрдэнэт хот “Эрдэнэт үйлдвэр” ХХК нь зэс, молибдений хүдэрийн олборлолт, баяжуулалтаар Ази тивд томоохонд тооцогддог үйлдвэр юм.1978 онд хоёр орны засгийн газар хоорондын гэрээний дагуу “Эрдэнэтийн Овоо”-ны орд газарт байгуулагдсан бөгөөд жилд 26 сая тонн хүдэр боловсруулж, 530.0 орчим мянган тонн зэсийн баяжмал, 4.5 орчим мянган тонн молибдены баяжмал үйлдвэрлэдэг байна.

Үйлдвэрлэлийн технологийн тасралтгүй найдвартай үйл ажиллагааг хангах үүднээс ашиглагдаж буй хүчний трансформаторыг авч үзсэн. Энэхүү судалгаааны ажилд хэмжилтийн үр дүнг “Flir”программыг ашиглан боловсруулсан болно. Энэхүү багж нь Швед улсад үйлдвэрлэгдсэн, олон талт функцтэй дулааны чадварыг мэдрэх чадвар сайтай гадаргуугийн халалтыг хэт улаан туяаны тусгалаар өнгөт дэлгэц дээр 2.5 дюмийн хэмжээтэй дүрслэн харуулдаг. Тооцоог “Excel”программ хангамжийг ашиглан хийж гүйцэтгэсэн болно.

Хүчний трансформаторын хэрэглээ, цаашдын чиг хандлага

Трансформатор нь өөрөө нэг хувьсах гүйдлийг өөр хувьсах гүйдэлд цахилгаан соронзон индукцээр хувиргахад зориулагдсан, хоорондоо соронзон холбоотой хоёр буюу түүнээс дээш ороомогтой цахилгаан соронзон статик төхөөрөмжийг трансформатор гэж нэрлэдэг. Трансформатор түүний зориулалтаас хамаарч бүтцийн ба ажлын горимын өөр өөрийн онцлогтой байдаг. Цахилгаан эрчим хүчний цахилгаан сүлжээнд (цахилгаан станц, дэд станц, үйлдвэрийн газар, хотын сүлжээ, хөдөө аж ахуй гэх мэт) цахилгаан

эрчим хүчийг дамжуулах ба хуваарилахад зориулагдсан трансформаторыг хүчний трансформатор гэдэг. Хүчний трансформаторт хамгийн чухал нь өндөр ашигт үйлийн коэффициенттэй байх явдал юм [2].

Эрдэнэт үйлдвэрийн хүчний трансформаторыг хүчдэлийн түвшингээр нь 110/35/6/0.4кВ-ийн гэж гурван хэсэгт ангилан үзэж, ашиглалтанд орсноос хойших эдэлгээний судалгааг хийв. Энэ судалгаааны үндсэн дээр хүчний трансформаторын найдвартай ажиллагааг хангах техник, зохион байгуулалтын арга хэмжээг боловсруулах шаардлагатай байна.

Хүчний трансформаторын гэмтэл, сааталын судалгаа

Гэмтэл саатал тэдгээрийн ангилал: Аливаа машин техникийн хийцийн онцлог байдал, ашиглалтын нөхцлөөс хамаарч сааталууд нь өөрийн гэсэн онцлог шинжийг агуулж, харилцан бие биенээсээ ялгагддаг. Гэмтэл саатал хэрхэн үүсэн бий болсон, ямар үр дагавар учруулсан зэрэг онцлог нөхцлүүдийг саатлын ангилалтай холбогдуулан авч үзэж болно.

Нийт гэмтсэн трансформаторыг үйлдвэрлэсэн улсаар нь ангилбал:

- БНХАУ-22 трансформатор
- ОХУ - 23 трансформатор тус тус гэмтсэн байна.

БНХАУ-д үйлдвэрлэгдсэн хүчний трансформатор 1-10 жилийн дотор гэмтсэн трансформаторын 100 хувийг эзлэж байна. Дээрхи үр дүнгээс үзэхэд БНХАУ-д үйлдвэрлэгдсэн хүчний трансформаторын техникийн үзүүлэлт манай сүлжээний хүчдэлийн болон өөрчлөлт ихтэй ачааллын горим, цаг уурын хүчтэй өөрчлөлтөд

тэсвэр муутай, засахад бэрхшээл ихтэй зэрэг хүндрэл гарч байна. Гэмтсэн хүчний трансформатор нь дараах хүчин зүйлсээс хамаарч байна.

- Хүчний трансформаторын ашиглалт
- Хүчний трансформаторын хэт ачаалал
- Хүчний трансформаторын хамгаалалт / стандарт гал хамгаалагч/

- Хүчний трансформаторын тээвэрлэлт / краны жолоочийн ажлын хариуцлага/
- Хүчний трансформаторын хадгалалт
- Хүчний трансформаторын чанар
Эдгээрээс үзэхэд хүчний трансформаторын гэмтлийг трансформаторын насжилттай шууд холбон авч үзэх нь дутагдалтай харагдаж байна.

Хүснэгт 1. Трансформаторын гэмтэл саатлын судалгаа

№	Трансформаторын марк	Гэмтэл, саатлын тоо				
		2013	2014	2015	2016	2017
1	ТМ-25/6	3	5	6	3	5
2	ТМ-63/6	2	1	3	1	4
3	ТМ-40/6	1	3	4	2	3
4	ТМ-100/6	1	2	2	1	2
5	ТМЭ-160/6	4	6	8	8	6
6	ТМ-250/6	1	2	3	1	2
7	ТМ-400/6	3	1	4	3	3
8	ТМ-630/6	3	8	9	3	4
9	ТМЗ-1000/6	1	3	4	2	4
10	ТМЗ-1600/6	5	2	3	1	3
11	Нийт гэмтэл, саатал	24	33	46	25	36

Гэмтэл саатлын судлагааг 2013-2017 оны хооронд “Эрдэнэт үйлдвэр” ХХК 6/0.4 кВ 250 гаруй хүчний трансформатор дээр явуулж хамгийн олон гэмтэл гарсан 10 трансформаторын гэмтэл саатлын судалгааг хийж доорх хүснэгтэд харуулав.

Энэ үзүүлэлтээс харахад 2013 оны байдлаар 6/0.4кВ-н хүчний трансформаторын гэмтэл харьцангуй бага, 2014-2015 онд харьцангуй өсөж 2016 онд буурч, 2017 онд гэмтлийн тоо өссөн байна [4].

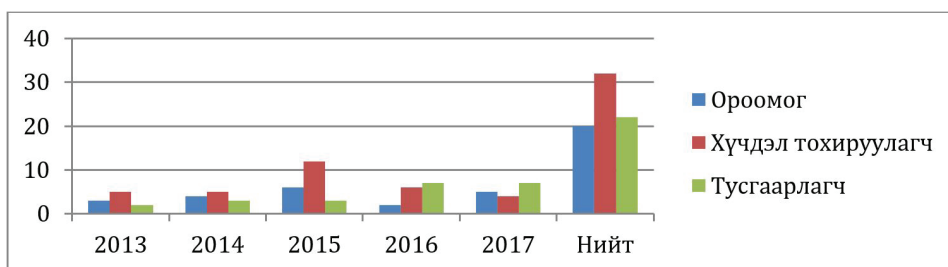
Хүснэгт -2. “Эрдэнэт үйлдвэр” ХХК-ийн 6/0.4 кВ хүчний трансформаторын цахилгаан болон механик гэмтэл, (оноор)

Хүчний трансформаторын төрөл	Гэмтэл, саатлын төрөл									
	2013		2014		2015		2016		2017	
	Цахилгаан гэмтэл	Механик гэмтэл	Цахилгаан гэмтэл	Механик гэмтэл	Цахилгаан гэмтэл	Механик гэмтэл	Цахилгаан гэмтэл	Механик гэмтэл	Цахилгаан гэмтэл	Механик гэмтэл
ТМ-25/6	1	2	3	2	3	3	1	1	2	1
ТМ-63/6	1	1	-	1	1	2	1	2	1	3
ТМ-40/6	-	1	1	2	2	2	-	1	2	-
ТМ-100/6	-	1	1	1	-	2	1	-	1	1
ТМ-160/6	1	3	3	3	2	6	3	5	-	1

TM-250/6	1	-	1	1	1	2	-	1	2	3
TM-400/6	1	2	1	-	2	2	1	2	1	1
TM-630/6	2	1	3	5	5	4	2	1	3	1
TM-1000/6	1	-	1	2	2	2	1	1	1	1
TM-1600/6	3	2	1	1	1	2	1	-	1	1
Нийт	11	13	15	18	19	27	11	14	14	13

Хүснэгт 3. “Эрдэнэт үйлдвэр” ХХК-ийн 6/0.4 кВ хүчний трансформаторуудад гарсан цахилгаан гэмтлийн судалгаа

Он	Цахилгаан гэмтэл		
	Ороомог	Хүчдэл тохируулагч	Тусгаарлагч
2013	3	5	2
2014	4	5	3
2015	6	12	3
2016	2	6	7
2017	5	4	7
Нийт	20	32	22



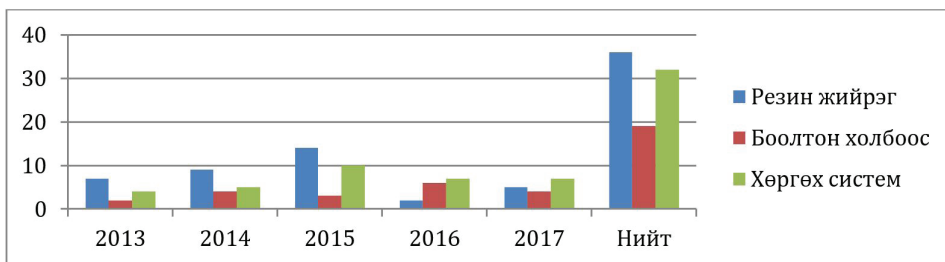
Зураг-1. Трансформатор дахь цахилгаан гэмтэлийн судалгаа (2013-2017)

Хүснэгт 3-аас үзэхэд хүчний трансформаторын хүчдэл тохируулагчийн болон тусгаарлагчийн гэмтэл ихэнх хувийг эзэлж байна. Хүчдэл тохируулагчийн гэмтэл их байгаа нь хүчдэл тохируулагчийн

дотор холболт суларснаас болж халалт үүсээд хавчаарууд нь шатах цаашлаад ороомог болон тусгаарлагчийг гэмтгэх нэг гол шалтгаан болж байна.

Хүснэгт 4. “Эрдэнэт үйлдвэр” ХХК-ийн 6/0.4кВ хүчний трансформаторуудад гарсан механик гэмтэлийн судалгаа

Он	Механик гэмтэл		
	Резин жийрэг	Боолтон холбоос	Хөргөх систем
2013	7	2	4
2014	9	4	5
2015	14	3	10
2016	2	6	7
2017	5	4	7
Нийт	37	19	33



Зураг-2. Трансформатор дахь механик гэмтлийн судалгаа (2013-2017)

Хүснэгт 4-өөс үзэхэд сүүлийн 3 жилийн байдлаар механик гэмтэл өссөн ба жийрэг муудаж тос гоожих гэмтэл их байна. Боолтон холбоос суларсаны улмаас халалт үүсэж түүнчлэн трансформаторын эд ангиудад нөлөөлж гэмтээх гол шалтгаан болж байна. Хөргөлтийн систем ба радиатор гэмтэхэд масло гоожиж уг трансформатор халах нэг шалтгаан болж байна. Судлагааны ажлын үр дүнгээс үзэхэд хүчний трансформаторын халалтын гол шалтгааны нэг нь боолтон холбоосууд сулрах, жийрэг резин муудах, хүчдэл тохируулагчийн хавчаар сулрах үед түүн дээр гэмтэл гардагийг олж тогтоов.

Гэмтлийн төрөл, шинж чанар

Трансформаторын өндөр, нам талын

гал хамгаалагч ажиллаагүй, тургисан, стандарт тавилтаас хэт өндөр тавигдсан, утсаар багласан, трансформаторын хэвийн ачаалалын горимыг барьж ажиллаагүй, аваарын клапан нээгээгүй, тос дундарсан, анцапп гэмтэл гарсан, аянгын хамгаалалт ОПН, РТ буруу байрлуулсан, огт тавиагүй, хариуцах ажилтан хариуцлага алдсан зэрэг хүчин зүйлээс хамааран гэмтлийн шалтгааныг холбон тайлбарлаж байна.

Трансформаторын гэмтэл нь засагдах боломжтой, боломжгүй, хэт өндөр зардлаар засах боломжтой хэмээн ангилаж болно. Гэмтсэн 45 трансформаторыг гэмтлийн шинж чанар, хүчин зүйлээр нь ангилбал:



Зураг-3. Трансформаторын гэмтэлийн төрөл эзлэх хувь

Хүчний трансформаторын гэмтэл сааталыг оношлох уламжлалт аргууд

Аливаа цахилгаан тоног төхөөрөмжийн хэвийн ажиллагаа тэр дундаа трансформаторын хувьд хэрэглэгчдийг найдвартай цахилгаан эрчим хүчээр хангах

явдал нь түүний хэмжилт оношлогооноос шууд хамааралтай байна.

Дараах төрлийн хэмжилтүүдийг хийж, трансформаторын техникийн байдлыг тодорхойлж судалдаг. Үүнд:

- Трансформацилах коэффициентийг

тодорхойлох

- Ороомгийн холболтын группыг тодорхойлох
- Ороомгийн омын эсэргүүцлийг тогтмол гүйдлээр хэмжих
- Богино залгааны хүчдэл ба алдагдлыг шалгах (богино залгааны туршилтаар)
- Хоосон явалтын гүйдэл ба алдагдлыг шалгах (хоосон явалтын туршилтаар)
- Тэг дарааллын эсэргүүцлийг хэмжих
- Хоосон явалтын гүйдлийн гармоник байгуулагчийг хэмжих
- Халалтын туршилт
- Банкны механик даацын туршилт
- Банкны битүүмжлэлийн туршилт
- Хөндийрүүлгийн тусгаарлах параметрийг тодорхойлох
- Цохилтын ба богино залгааны даацын туршилт
- Дуу чимээний туршилт
- Тэмдэглэгээг шалгах
- Трансформаторын тосны туршилт
- Салдаг оруулгуудын контактын температурын өсөлтийг хянах
- Идэвхтэй хэсгийн механик даацын туршилт
- Галын аюулгүй байдлыг шалгах
- Жинг тодорхойлох
- Трансформаторын өндөр хүчдлийн туршилт

Одоогийн байдлаар “Эрдэнэт үйлдвэр” ХХК-ийн трансформаторт эдгээр хэмжилт, туршилтыг хийж байна. Үүнд:

- Чийгшилтийн коэффициентийг тодорхойлох
- Ороомгийн эсэргүүцлийг хэмжих
- Трансформаторын холболтын групп тодорхойлох
- Трансформацилах коэффициентийг тодорхойлох
- Трансформаторын хоосон явалтын туршилт

Олон улсын түвшинд өндөр хүчдэлийн туршилт хийж тоног төхөөрөмжийн гэмтлийг тодорхойлох үйл явц нь тухайн тоноглолын элэгдлийг бууруулах, гэмтлийг нэмэгдүүлэх үр дагавартай тул

гэмтээлгүй оношлох (non destructive testing) аргыг илүүд үзэх болсон билээ. Өнөөгийн байдлаар:

- АЕТ(acoustic emission testing)-дуу авианы цацралтын
- ART (acoustic resonance testing)-Дуу авианы резонансын
- ET (electromagnetic testing)-Цахилгаан соронзон
- IRT (Infrared testing)-Хэт улаан туяаны
- LT (Leak testing)- Шүүрэлтийн
- MT (Magnetic particle testing) -Соронзон жижиг хэсгүүдийн
- PT (Dye penetrant testing)-Будаг нэвтрэлтийн
- RT (Radiographic testing)-Радио графикийн
- UT (Ultrasonic testing) -Дуу авианы
- VT (Visual testing)- Нүдээр харах зэрэг туршилтуудыг гэмтээлгүй оношлох (non destructive testing) аргууд хэмээн нэрлэж, хэрэглэсээр байна.

Эдгээр аргаар оношилогоо хийх, шинэ техник технологи нэвтрүүлэхэд онцгой анхаарч “Оношилогоо засварын ажлыг гүйцэтгэх, төлөвлөх нэгдсэн систем”-ийг Монголд бий болгохоор Эрчим хүчний яам болон бусад байгууллагууд, донор орнуудтай хамтран ажиллаж байна. “Нил улаан туяаны оношилогооны камер”-аар хэмжилт хийж, трансформаторыг өөрийг нь гэмтээлгүй үр ашигтайгаар оношлох дүгнэлт гаргав.

- MNS IEC 60422:2005 “Цахилгаан тоног төхөөрөмжид хэрэглэдэг хөндийрүүлэх эрдэс тосны ашиглалт, хяналтын зарчим” олон улсын стандартыг орчуулж, Монгол улсын стандартаар баталуулах,
- MNS:2013 ”Цахилгаан систем ба түүний бүрдэл хэсгүүд дэх хэт улаан туяаны хэмжилтийн төлөвлөлт, гүйцэтгэл, баримтжуулалт хийх зарчим“ стандартыг боловсруулж, Монгол улсын стандартаар баталуулах зэрэг ажил хийгдэж байна.

Нил улаан туяаны камераар тоноглолын

контакт, холболтууд сулрах, тухайн тоноглолд хэсэгчилсэн болон бүхэлд нь хамарсан халалтууд, искра үүсэх зэрэг хүний нүдээр илрүүлэх боломжгүй гэмтлүүд гарч, энэ нь даамжирч арга хэмжээ авахгүйгээс сааталд хүргэх тохиолдолыг арилгах боломж бүрдэж байна.

Нил улаан туяаны онол

Цахилгаан соронзон спектрийн мужид нил улаан туяа 0,75-1000 мкм-ийн хязгаарт оршдог. Энэ нь нүдэнд харагдах туяа болон хэт давтамжийн радио долгионы засварын бүсэд оршиж байна. Нил улаан туяаны спектрийг дараах дэд ангилалд хуваадаг. 0,75-1мкм ойрын, 1-3мкм богино долгионы, 3-6мкм дунд долгионы, 6-15мкм урт долгионы, 15-1000мкм алсын долгионы хязгаарт ангилна. Биетээс цацарч байгаа нил улаан туяа нь атомын тасралтгүй хөдөлгөөн юм. Биетийн температурыг нэмэгдүүлэхэд атомын хөдөлгөөн биетээс үл хамаарахгүйгээр цацруулах болон хазайх шинж чанар нь ижил байна. Бүх халуун биетүүд хэт улаан туяаг байнга цацруулдаг байна. Энэ нь тодорхой хэмжээний долгион цацруулах боловч ямарч утгагүй байдаг. Халсан хатуу биет маш өргөн цар хүрээнд долгионы уртыг тархуулна. Температур бага байх тусам халсан биетийн долгион цацруулалт багасана. Температур ихсэх тусам долгионы тархалт ихсэж, 1000 градусаас дээш хэт улаан туяа цацруулж эхэлдэг.

Дулаан цацруулалтын хууль: Энэ хуульд хар бие хэмээх Киргофийн хууль үйлчилдэг тухайн биетийн бодит халалт нь энергийн хувиарлалтанд нөлөөлдөг бөгөөд хар биетэд ойртож түүндээ дөхөм байх ёстой.

Планкийн дулаан цацруулалтын хууль: Уг долгионы уртын λ ба биетийн температур T -ээс хамаарах хамаарал юм. Эдгээр өөрчлөлтийн температурыг нь ихэсгэн багасгаж λ/λ_{\max} хэмжээгээр зохицуулж болно. Ингэхэд ашигтай байдал нь $\lambda/\lambda_{\max} = 0.5 \dots 0,3$ өөрөөр хэлбэл $\max \lambda_{\max} / 2$ байхад $3 \lambda_{\max}$ тах байна.

Винагийн солилцооны хууль: Долгионы

урт λ_{\max} , $\lambda_{\max} = 2.9/T$ харьцааны буцах температурт тохирч, АЧТ цацруулагчийн нягтруулах спектрт тохирох хэмжээ $C = \text{const}$ байна.

Стефана Больцмана хууль: АЧТ-ийн цацруулагчид нь чадлыг дараах байдлаар хуваарилана. $R = \delta T^4$ энд δ -Стефана Больцманын тогтмол. Дулаан цацруулалтын онолд түүхий биет гэсэн ойлголтыг авч үздэг. Энд Крихгофийн дулаан цацруулалтын хуулийг өргөн ашиглана.

Дулаан биетийн шингээлтийг коэффициент нь нэгж хэмжээнээс бага байх ёстой өөрөөр хэлбэл хар биет нь дурын температур болон үелзэлд цацруулалтыг саадгүй нэвтрүүлэх үүрэгтэй. Хэрэв биет ямар нэг цацруулалтыг биедээ шингээхээр бол тэрээр ямар ч цацруулалт хийхгүй. Тухайн температурын түүхий эд өөртөө шингээх коэффициенттэй байх ёстой. Долгионы уртын хэмжээ /мкм Гамма туяа / 10^{-5} мкм / Рентген туяа / 10^{-5} -0,2/ мкм Ультра туяа /0,2-0,4/ мкм Харагдах өнгө /0,4-0,75 / мкм Нил улаан туяа /0,75-100/ мкм Урт нил улаан туяа /0,75-1,5/ мкм Дунд нил улаан туяа /1,5-5,6 / мкм Богино нил улаан туяа /5,6-100/ мкм Хүнд мэдрэгдэх хэмжээ /6-20/ мкм байна.

Энэ арга нь хийцийн гадаргуу дээрх дотоод ба гадаад температурын уналтыг тооцон дулаан дамжуулах харьцангуй эсэргүүцлийг тооцоод дулаан хамгаалах чанарын үзүүлэлтүүдийг авч үздэг байна. Тоног төхөөрөмжийн гадаргуугын температурын нь дулааны хянах дэлгэц дээр хар, цагаан болон өнгөт байдлаараа температур бүрт тохирсон өнгийг үзүүлдэг байна. Дулааныг харах хяналт нь гадна ба дотоод байдлаас хамаарах хэсгүүдийг бэлтгэнэ. Гэмтэлтэй хэсгүүдийн шугаман термограммын геометрийн масштабыг ашиглан тодорхойлдог байна.

Нил улаан туяаны оношлогоог хэрэглэх: Техникийн дэвшлийн системийн нэг болох нил улаан туяаны оношлогоо нь цахилгаан систем, үйлдвэрлэлийн салбарт

өргөн хэрэглэгдэж байгаа бөгөөд цахилгаан тоног төхөөрөмж, тэдгээрийн хэрэглэгчийг таслахгүйгээр халалтын түвшинг тодорхойлох боломжийг бүрдүүлж байна [1]. Төхөөрөмжид гарч болзошгүй гэмтэл, саатлыг урьдчилан илрүүлснээр засвар, техникийн үзлэг, үйлчилгээний зардал, хөдлөмөр зарцуулалтыг бууруулах, ажиллагааны бодит байдалд тулгуурлан саатал хоорондын ажиллагааг оновчлох, техникийн үлдэгдэл нөөцийг тодорхойлох боломжтой юм.

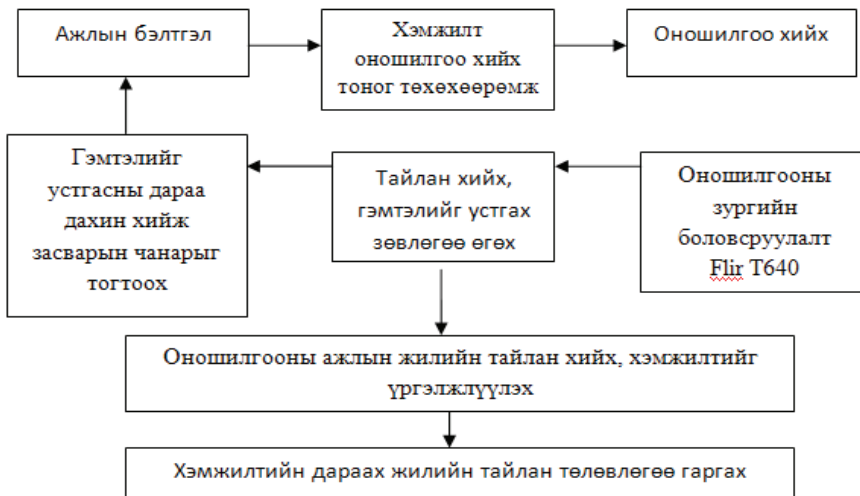
Нил улаан туяаны оношлогооны онцлог нь:

- Тоног төхөөрөмжийн бүтцэд өөрчлөлт оруулахгүй
- Технологийн хэвийн ажиллагаанд нөлөөлөхгүй
- Үйлдвэрлэлийн төлөвлөгөөг

тасалдуулахгүй

- Оношлогооны өгөгдлийг компьютерт зориулалтын программаар боловсруулдаг
- Оношлогоо, судалгаа хийхэд өртөг бага давуу талтай юм.

Энэ оношлогооны төхөөрөмжийг АНУ-ын Инфарметрикс, Шведийн Агема, ОХУ-ын Оргрэс компаниуд үйлдвэрлэдэг бөгөөд дэлхийн бусад улс оронд нилүүлж байгаа ба тэдгээр орны эрдэмтэд цахилгаан тоног төхөөрөмжийг хянах аргачлал, зөвлөмжийг гарган судалж байна. Нил улаан туяаны оношлогоо хийх, хэмжилтийн дүнг боловсруулах ажил нь цахилгаан тоног төхөөрөмжийн паспортын өгөгдлийг хэмжилтийн үр дүнтэй харьцуулах ажиллагаа юм. Нил улаан туяаны оношлогоо хийх болон боловсруулалтын ажлыг дараах байдлаар хийж байна.



Зураг-4. Нил улаан туяаны оношлогоо хийх, боловсруулах дараалал

Оношлогооны үр дүнд техникийн байдлыг халалгаар нь үнэлэх

Нил улаан туяаны оношлогоо явуулахад тоног төхөөрөмжийн халалтын дотоод хүчин зүйлийн нөлөөллөөс гадна гадаад орчны нөлөөллийг тооцоолох шаардлагатай. Байгаль цаг уурын шууд нөлөөнд ажилладаг цахилгаан тоног

төхөөрөмжийн хэмжилтэнд нартай (үүл, манантай), бүрхэг эсвэл салхи, хур тунадас зэрэг нь нөлөөлж хэмжилтийн үр дүнг алдаатай болгож болно.

Иймд хэмжилтэнд доорх хүчин зүйлсийг тооцох хэрэгтэй. Үүнд:

- Материалын температур ойлголтын коэффициент

- Нарны цацраг
- Салхины хурд
- Хэмжилт хийж буй объект хүртлэх зай
- Ачааллын гүйдлийн утга
- Дулаан ойлголт гэх мэт

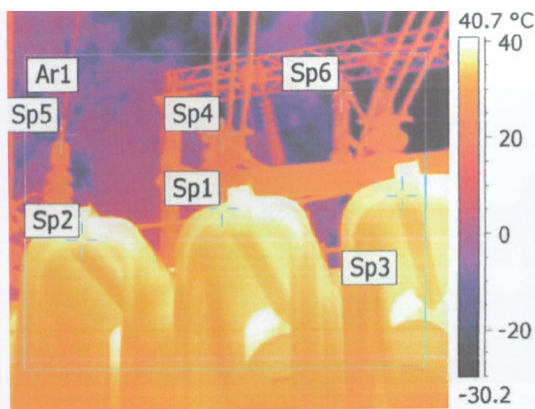
Эрдэнэт УБҮ-ийн хүчний трансформаторт нил улаан туяаны оношлогоо хийсэн үр дүн

Трансформаторын дотор ороомгийн холболтон дээрх гэмтлийн улмаас үүссэн дулаан их биен дээр шилжин улмаар оношлогооны камерт бүртгэгдэх хэмжээний дулааны толбоор трансформаторын гэмтлийн байршлыг тепловизроор тодорхойлсон болно. Тепловизроор дараах гэмтлийг тодорхойлж байна. Үүнд:

- Трансформаторын ороомог хоорондын богино холбоо

- РПН- хүчдэл тохируулах системийн контактын гэмтэл
- Трансформаторын хөргөлтийн систем
- Трансформаторын бакан доторхи тосны шилжилт хөдөлгөөний өөрчлөлт, урт хугацааны ашиглалтын явц дахь ороомгийн тусгаарлалтын хавагналт
- Трансформаторын нам талын холболтын халалт

Судлагааны ажлаар хүчний трансформаторыг нил улаан туяаны оношлогооны хэмжилт хийх боломжийн талаар судалсан болно. Дээрх хэмжилтийн ачаалалтай байгаа хүчний трансформатор дээр орчны температур тэг градуст ойролцоо хийсэн болно.

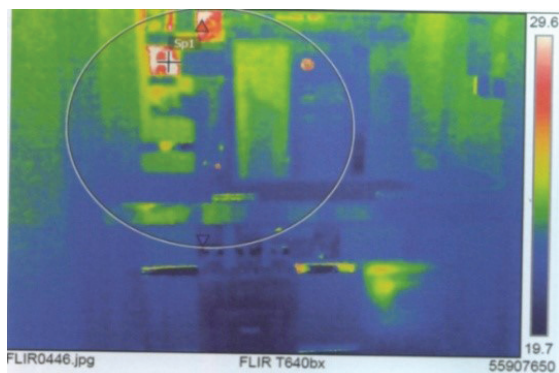


Параметр	Дүн
Тусах чадвар	0.94
Ойсон температур	17.2.0°C
Цэгүүд	Дүн
Sp1	37.8°C
Sp2	36.6°C
Sp3	36.9°C
Sp4	21.8°C
Sp5	19.5°C
Sp6	19.7°C
Ar1: max	41.5°C

Зураг-5. Хүчний трансформаторын ТРДН-63000/110/6/6 кВ- хэмжилт

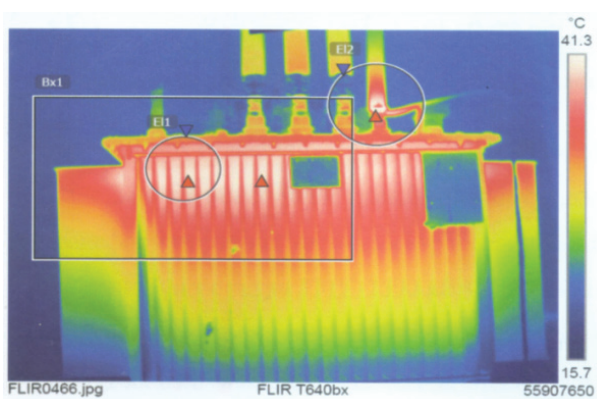
ТРДН-63000/110кВ-н трансформаторын радиатор болон өндөр талын оруулга дээрх халалт хэвийн хэмжээнээс их байна. Түүнчлэн трансформаторын

ачаалалтай үед нь түүний ажиллагаанд нөлөөлөлгүйгээр үл эвдрэх оношлогооны сорил хийж байгаа нь ач холбогдолтой байгаа нь харагдаж байна.



Зураг-6. ТМН 1600/35 кВ-н хүчний трансформаторын оруулгын халалт, хэмжилт

Параметр	Дүн
Тусгах чадвар	0.95
Ойсон температур	20 ⁰ C
Цэгүүд	Дүн
Bx1	32.4 ⁰ C
E11	32.4 ⁰ C
min	19.9 ⁰ C
Sp4	12.7 ⁰ C
Average	23.3
Sp1	30.8



Зураг-7. ТМ630/6/0,4 кВ-н хүчний трансформаторын их биений халалт, хэмжилт

Параметр	Дүн
Тусгах чадвар	1
Ойсон температур	28.2 ⁰ C
Цэгүүд	Дүн
Bx1	41.7 ⁰ C
E11	41.5 ⁰ C
Min	31.8 ⁰ C
Average	38.4 ⁰ C
E12 Max	48.1
Min	19.9
Average	28.2

Дээрх туршилтаас үзэхэд ТМН 16000/35 кВ-н трансформаторын хувьд ачаалал багатай байгаа нь харагдаж байна. Харин ТМ630/6/0,4 кВ-н хүчний трансформаторын хувьд ачаалал ихтэй байгаа нь харагдаж байна.

Судалгаанаас үзэхэд ТМН-2500кВА, ТРДН-63000 кВА-ийн чадалтай 110/6,35/6 кВ-ийн хүчний трансформаторт гэмтэл гарах нь бага байна. Эдгээр трансформаторт урсгал засвар их засварыг батлагдсан графикийн дагуу байнга хийдэг. Үүнээс гадна ТМН-1600 кВА, ТМ-630 кВА-ийн трансформатор ачаалал их, халалт их

байгаа нь харагдаж байна.

Эрдэнэт үйлдвэрийн хувьд хүчний трансформаторын хэмжилт, туршилт оношлогоог уламжлалт аргаар хийж гүйцэтгэдэг. Харин техникийн дэвшилтэт системийн нэг болох нил улаан туяаны оношлогоо хэрэглэснээр график төлөвлөгөөнд тусгагдсан 120 цаг засварын хугацааг 84 цаг болгон бууруулж ажлын нөхцөл бололцоог хангаж, уурхайн үйлдвэрлэлд зохих хэмжээний үр ашгийг авчирч байна. Эндээс гарах эдийн засгийн үр ашгийг тооцож үзэв.

Хүснэгт 5. Хүчний трансформаторын засварын үнэлгээ (110/6, 35/6 кВ-ийн)

№	Трансформаторын чадал	Урсгал засвар /төгрөг/ ₮	Трансформаторын тоо /ширхэг/
1	ТМ-2500кВА	1500000	2
2	ТМ-400кВА	1700000	4
3	ТМ-6300кВА	2100000	4
4	ТМ-10000кВА	3000000	5
5	ТМ-40000кВА	3900000	2
6	ТМ-63000кВА	4000000	3

Хүснэгт-6 . Нил улаан туяаны оношлогоо хийж трансформаторын урсгал засварын хугацааг бууруулснаар гарах эдийн засгийн тооцоо

№	Трансформаторын чадал, төрөл	Трансформаторын тоо /ширхэг/	Урсгал засвар		Засварын хугацааг 30% бууруулснаар хэмнэсэн зардал / төгрөг/ ₮
			Нэг бүрийн зардал / төгрөг/ ₮	Нийт зардал / төгрөг/ ₮	
1	ТМ-2500кВА	2	1500000	3000000	900000
2	ТМ-400кВА	4	1700000	6800000	2040000
3	ТМ-6300кВА	4	2100000	8400000	2520000
4	ТМ-10000кВА	5	3000000	15000000	4500000
5	ТМ-40000кВА	2	3900000	7800000	2340000
6	ТМ-63000кВА	3	4000000	12000000	3600000
Нийт		20	16200000	53000000	15900000

Судалгаанаас үзэхэд гэмтэл бага гардаг найдвартай ажиллагаа өндөртэй 20 ширхэг трансформаторын урсгал засварын

хугацааг 30% бууруулснаар гарах эдийн засгийн бодит хэмнэлт нь 15,900.000 төгрөг болж байна.

ДҮГНЭЛТ

Эрдэнэт үйлдвэрт ашиглагдаж буй хүчний трансформаторын ашиглалтын болон эвдрэл гэмтэл, саатлын судлагааг 2013-2017 оны байдлаар авч үзэв. Судлагаанаас үзэхэд ТРДН-63000 кВА-ийн чадалтай 110/6, 35/6 кВ-ийн хүчний трансформаторт гэмтэл гарах нь болох нь харагдаж байна. Эдгээр трансформаторын урсгал засвар, их засварыг батлагдсан графикийн дагуу хийдэг байна. ТМ-25 кВА, ТМ-2500 кВА-ийн чадалтай 6/0.4 кВ-ийн хүчний трансформатор нь харин ихээхэн гэмтдэг болох нь харагдаж байна. Эдгээр трансформаторт урсгал засвар, их засварыг батлагдсан графикийн дагуу байнга хийх

шаардлагатай байна.

Олон улсын түвшинд өндөр хүчдэлийн туршилт хийх тоног төхөөрөмжийн гэмтэлийг тодорхойлох үйл явц нь гэмтээлгүйгээр оношлох аргыг илүүд үзэж байна. Трансформаторын урсгал засварыг жилд нэг удаа 120 цаг хийхээр тооцож, графикт тусган засвар үйлчилгээг хийдэг байна. FLIR systems T640 оношлогоог хийснээр дээрх засварын хугацааг 84 цагт хийх боломжтой хэмээн үзэж, нийт засварын хугацааг 30% бууруулах боломжтой бөгөөд эндээс гарах эдийн засгийн үр ашиг нь 15,900,000 төгрөг болж, бодит хэмнэлтийг үзүүлэх боломжтой байна.

Талархал: Орчин үед судалгаа шинжилгээний ажлыг гүйцэтгэх нь нэг судлаачийн ажлаас илүүтэйгээр хамтын бүтээл болж байна. Иймд энэхүү судалгааны ажлын санааг олох, судалгааг хэрэгжүүлэхэд онол, практикийн хувьд зөвлөгөө өгч ажилласан ШУТИС-ийн

ГУУС-ийн багш, доктор, дэд профессор Б.Эрдэнэцэцэгт талархаж байна. Түүнчлэн судалгаа шинжилгээний ажлыг гүйцэтгэх бололцоог олгосон Эрдэнэт үйлдвэр, УБЦТС, Багануур ХК-д талархал илэрхийлж байна.

НОМ ЗҮЙ

1. Т.Артаг “Хүчний трансформаторын ашиглалтын судлагаа” УБ хот 2013
2. Ө.Ганчимэг “Эрдэнэт үйлдвэрийн хүчний трансформаторын насжилт тодорхойлох реле хамгаалалтын боловсронгуй болгох” УБ хот 2015
3. Б.Хээрийнбаатар “Нил улаан туяаны зайн таталт оношилогоо” УБ хот 2004
4. Эрдэнэт үйлдвэрийн хүчний трансформаторын ашиглалтын журнал 2011-2017

DIAGNOSTIC METHODOLOGY OF POWER TRANSFORMER'S FAILURE

Chinbat O.

*Department of Electrical engineering, Institute of Engineering and Technology
corresponding author; e-mail: chinbat.o@iet.edu.mn*

Abstract: Mining and energy sectors are considered to be the fundamental keystones of the Mongolian economy. Regarding the Erdenet enterprise LLC, which is acknowledged as the leading enterprise of mining sector, the ensuring continuous and uniform production serves as the basis for improving efficiency and production quality end products. Smooth, uninterrupted reliable and stable operation of production is directly dependent on power supply system, its sub-system composition and power transformer application.

Therefore, this study was conducted at the power transformers located in Erdenet Enterprise LLC and Ulaanbaatar Electricity Distribution Network with the aim to identify damages and failure in transformers and develop diagnosing methodology.

Keywords: *Temperature; Mechanics; Insulation; Electric;*