JET JOURNAL of ENERGY TRANSITION

TYPE: Original article
PUBLISHED: December 29, 2025
DOI: 10.59264/jet.v3i1.109

OPEN ACCESS

*CORRESPONDENCE
Gantumur Shagdarsuren
E-mail address:
gantumur2020@must.edu.mn

RECEIVED: December 02, 2025
ACCEPTED: December 18, 2025
PUBLISHED: December 29, 2025

CITATION
G. Shagdarsuren, O. Erdene-Ochir, M. Gantumur, G. Shagdarsuren, ''Electric Energy Loss Calculation Software and Calculation Results'', Journal of Energy Transition, vol. 3, no. 1, pp. 14–23, Dec. 2025.

COPYRIGHT
©2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Electric Energy Loss Calculation Software and Calculation Results

Ganzorig Shagdarsuren[1], Oyuntulkhuur Erdene-Ochir[1], Munkhbolor Gantumur[1], Gantumur Shagdarsuren[1*]

[1*](School of Power Engineering, Mongolian University of Science and Technology, Ulaanbaatar, Mongolia) gantumur2020@must.edu.mn

Abstract — When developing an integrated program that can be used in production to calculate and analyze energy losses in the electric distribution network, a unique mathematical modeling suited to the specific electric distribution network, its structure, organization, characteristics, and scope of service is applied, along with linear and nonlinear calculation model methods. There are direct methods and mathematical-statistical methods to determine energy losses in distribution networks through calculations. It is necessary to correctly select the mathematical model for calculation, the scale of the model, and composite calculation methods, and in some cases, develop new ones, design algorithms, and create software. The method of determining electric power loss using the duration of losses based on the steady-state calculation of the electrical distribution network is highly accurate, but it has the drawback of requiring a large amount of primary data and monthly mode measurements of each substation in the calculations. Therefore, in this study, a simple method was used to determine electric power loss using the measurement values of meters installed at the head of the distribution network, employing a single-line, single-transformer equivalent model. In this method, when performing the calculation, a load shape coefficient was calculated instead of using the duration of the loss. This article discusses programs developed to determine electric power loss in the distribution network in this direction and using them to perform calculations for reducing power loss in the short term.

Keywords — electric energy loss, TLoss-10 program, load shape coefficient, amorphous transformer, equivalent model

Цахилгаан Эрчим Хүчний Алдагдлын Тооцооны Программ Хангамж, Тооцооны Үр Дүн

Шагдарсүрэнгийн Ганзориг [1], Эрдэнэ-Очирын Оюунтүлхүүр[1], Гантөмөрийн Мөнхболор[1], Шагдарсүрэнгийн Гантөмөр[1*]

[1*](Эрчим Хүчний Инженерчлэлийн Сургууль, Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургууль, Улаанбаатар хот, Монгол улс)

Хураангуй — Цахилгаан түгээх сүлжээний эрчим хүчний алдагдлын тооцоог гүйцэтгэх, шинжилгээ хийх үйлдвэрлэлд ашиглах боломжтой цогцолбор программыг боловсруулахдаа тухайн цахилгаан түгээх сүлжээ, цахилгаан түгээх сүлжээний бүтэц, зохион байгуулалт, онцлог үзүүлэлтүүд, үйлчлэх хүрээнд тохирсон өвөрмөц математик загварчлал, түүнийг тооцоолох шугаман, шугаман бус загварын аргуудыг ашигладаг. Түгээх сүлжээний цахилгаан эрчим хүчний алдагдлыг тооцоогоор тодорхойлох шууд аргууд болон математик статистикийн аргууд байдаг. Тооцооны математик загвар, загварын хэмжээ, тооцооны нийлмэл аргуудыг зөв сонгон авах, зарим үед шинээр боловсруулж, алгоритм зохион, программ хангамж зохиох шаардлагатай. Цахилгаан түгээх сүлжээний тогтсон горимын тооцоонд тулгуурлан алдагдлын хугацааны тусламжтайгаар цахилгаан эрчим хүчний алдагдлыг тодорхойлох арга нь өндөр нарийвчлалтай байдаг боловч тооцоонд их хэмжээний анхдагч өгөгдөл, тооцооны хугацааны сар бүрийн дэд станц бүрийн горимын хэмжилт шаардлагатай болдог дутагдалтай талтай байдаг. Иймд цахилгаан түгээх сүлжээний толгойн хэсэгт тавьсан тоолуурын хэмжилтийн утгаар цахилгаан эрчим хүчний алдагдлыг тодорхойлох нэг шугам, нэг трансформаторын эквивалент загвар ашиглах нэгэн хялбар аргыг энэхүү судалгаанд ашигласан. Энэ аргаар тооцоо хийхэд алдагдлыг хугацааны оронд ачааллын графикийн хэлбэрийн коэффициентыг тооцсон. Энэ чиглэлээр хийсэн түгээх сүлжээний цахилгаан эрчим хүчний алдагдлыг тодорхойлох программ, түүнийг ашиглан богино хугацаанд эрчим хүчний алдагдлыг бууруулах тооцоог хийх талаар энэхүү өгүүлэлд авч үзсэн.

Түлхүүр үг — Цахилгаан эрчим хүчний алдагдал, TLoss-10 программ, Хэлбэрийн коэффициент, Аморф трансформатор, Эквивалент загвар

JET JOURNAL of ENERGY TRANSITION

TYPE: Original article
PUBLISHED: December 29, 2025
DOI: 10.59264/jet.v3i1.109

I. ОРШИЛ

Цахилгаан энергийн дамжуулалт, хуваарилалтын үед тодорхой хэмжээний алдагдал байнга гарах бөгөөд энэ хэмжээ нь техник технологийн шинэчлэл, үнэ тариф, хэрэглээний соёл зэрэг олон хүчин зүйлээс хамаардаг. Гадаадын өндөр хөгжилтэй улсуудад цахилгааны алдагдлын хувь хэмжээ 2-5 % байдаг бол манай улсад 15-20% байна [1,2]. Цахилгааны алдагдлын хэмжээ багатай, техник технологи өндөр хөгжсөн, орчин үеийн тоног төхөөрөмж нь бүрэн нэвтэрсэн, горим ажиллагааг нягт барьж цахилгааны хэрэглээний өндөр соёлтой ажилладаг гадаадын улсуудад эрчмийн алдагдлыг тодорхойлох программ хангамж байдаггүй, байх ч шаардлагагүй юм.

Бидний сайн мэдэх Power Factory программ хангамж гэхэд цахилгаан энергийн алдагдлыг тооцох хялбар аргууд, алдагдлын хугацаа Тауг олох аргачлал, алгоритмыг агуулаагүй. Эрчим хүчний үнийн харьцангуй хямд байдал авч байгаа цалинтай нь харьцуулахад/, технологийн өндөр хөгжил зэргээс хамаарч цахилгааны алдагдлын тооцоог ч хийдэггүй, харин цахилгааны чанарын хазайлтыг голлон барьж ажилладаг онцлогтой. Цахилгааны үнэ хямд байдаг тул хулгай, зүй бус хэрэглээ багатай. Нөгөө талаас бүрэн хяналтын систем нэвтэрсэн, байнгын хяналт бүртгэлийн үр дүнд цахилгааны алдагдлын online хэлбэрээр шууд тодорхойлдог байна.

Гадаадын улсуудад энэ чиглэлийн судалгаа, ижил программ хангамж байхгүй тул харьцуулсан судалгаа, эшлэл хийх, харьцуулсан үр дүнг гаргах боломжгүй.

Харин манай улсын хувьд техник хуучралт, элэгдэлд ихээхэн орсон, технологийн хөгжил муутай, түгээх сүлжээнд хяналт, удирдлагын систем бараг нэвтрээгүй, нэвтрүүлэх их хэмжээний зардал ч байхгүй, хөрөнгө оруулалт хийгдэхгүй байгаа тул цахилгааны алдагдлын хэмжээ бусад улсуудтай харьцуулахад ихээхэн өндөр байна. Гадаадын улсуудад түгээх сүлжээг SCADA систем, SMART GRID хэлбэрт шилжүүлсэн олон тохиолдол байхад манай улсад 110-220 кВ-ын дамжуулах сүлжээнд ч SCADA системийг бүрэн нэвтрүүлээгүй л байна. Иймд манай улсын түгээх сүлжээг иж бүрэн шинэчлэх, орчин үеийн SCADA систем, SMART GRID хэлбэрт шилжүүлэхэд нэлээдгүй хугацаа, 10-20 жил, монгол улсын нийгэм эдийн засаг, улсын нөхцөл байдлыг харвал үүнээс илүү хугацаа шаардлагатай болохоор байна [3, 4].

Ийм учраас монгол улсын онцлогт тохирсон хялбар, үйлдвэрлэлийн инженерүүд ашиглах боломжтой, цахилгааны алдагдлыг тодорхой хугацааны түвшинд, тодорхой нарийвчлалтайгаар тооцоолох программ хангамжийг түгээх сүлжээний онцлогт тохируулан боловсруулах, цахилгаан алдагдлыг тооцоогоор хянах, улмаар тодорхой хэмжээгээр бууруулах, эдийн засгийн хувьд ашигтай ажиллах шаардлага зүй ёсоор үүсэж байна [2, 10].

“TLoss-10” программ хангамжийг 2025 онд “ӨБЦТС” ТӨХК-ийн захиалгаар тус сүлжээний бүтэц зохион байгуулалт, онцлог шинж чанар, ачааллын горим, тоног төхөөрөмжүүдтэй уялдуулан өмнө явуулсан судалгааны ажлын үр дүнд тулгуурлан 6-35 кВ-ын сүлжээний эрчим хүчний алдагдлыг тооцоолох боломжтойгоор тухайн байгууллагын үйл ажиллагаанд зохицуулан “VB” хэлээр боловсруулан зохиосон. 35 кВ-ын сүлжээний алдагдалд шугамын генерацийн чадлыг нэмж тооцох шаардлага гарсан. 35 кВ-ын сүлжээ нь 6-10 кВ-ын сүлжээнээс багтаамжийн дамжууламж, түүнд гарах генерацийн хуурмаг чадал ихтэй байдаг онцлогтой тул нэмэлтээр шугамын багтаамжийн дамжууламж буюу b_0-ийг тооцох сонголтыг нэмж оруулсан [13]. Үүнээс гадна хувийн эзэмшлийн трансформаторын алдагдлыг тусад нь тооцох боломжтой болгосон.

Цахилгаан түгээх сүлжээний цахилгаан энергийн алдагдал, түүний тоо хэмжээ нь эх үүсвэрээс цахилгаан дамжуулах сүлжээгээр авсан нийт цахилгаан эрчим хүч болон түгээх сүлжээгээр хэрэглэгчдэд хуваарилан борлуулсан цахилгаан эрчим хүчний зөрүүгээр тодорхойлж болно. Энэхүү цахилгааны алдагдал нь техникийн алдагдал ба зүй бус алдагдал гэсэн хоёр байгуулагчаас тогтоно.

Цахилгаан түгээх сүлжээний цахилгааны алдагдлын нэрийг зарим үед Цахилгаан энергийг дамжуулах зардал болон Цахилгаан энергийн технологийн зарцуулалт гэх мэтээр бичих тохиолдол байна. Эдгээр нэрс нь нийт алдагдал, түүний бүтцийг бүрэн дүүрэн илэрхийлж чадахгүй тул тул бодит амьдралд цахилгаан энергийн буюу цахилгаан эрчим хүчний “Бодит тайлангийн алдагдал” гэсэн ойлголтыг авч үздэг.

Тайлангийн алдагдлын зүй бус алдагдал буюу хулгай, техникийн гэмтэл, буруу тоололт, задгай хэрэглээ зэргийг тодорхойлох төлөвлөх ямар ч арга байхгүй. Ямар нэгэн хүн эрчим хүч хулгай хийх эсэхийг загварчлах боломжгүй, тийм загвар ч байхгүй. Харин нөгөө бүрэлдэхүүн хэсэг болох техникийн шинж чанартай алдагдлыг тооцоогоор олоод тайлангийн алдагдлаас хасах замаар зүй бус алдагдлыг тодорхой хэмжээнд гарган авч болно.

Иймд дэлхийн улс орнууд өөрийн дамжуулах ба түгээх сүлжээнд тохирсон горимын тооцооны болон цахилгаан эрчим хүч буюу цахилгаан энергийн алдагдлын тооцооны загвар, тооцооны аргачлал, алгоритм, программ хангамжийг боловсруулсан ба одоо ч үйлдвэрлэлд ашигласаар байна [4-6].

II. ЦАХИЛГААН ТҮГЭЭХ СҮЛЖЭЭНИЙ ЭРЧИМ ХҮЧНИЙ АЛДАГДЛЫН ТОДОРХОЙЛОХ АРГА ЗҮЙ

Цахилгаан эрчим хүчний техникийн алдагдлыг тодорхойлох хамгийн сайн арга бол хугацааны маш богино интервалд тогтсон горимын тооцоог гүйцэтгэн чадлын алдагдал, улмаар цахилгааны алдагдлыг олох арга юм. Харамсалтай нь энэ аргаар түгээх сүлжээнд (SCADA систем бүрэн нэвтрээгүй) тооцоо хийхэд дэд станцын горимын хэмжилтийг дээрх хугацааны маш богино интервалд хугацааны нэгэн эгшинд авч тогтсон горим бодох боломжгүй юм. Үүнээс болж цахилгааны алдагдлыг тодорхойлон дүн шинжилгээ хийж чаддаггүй.

Дээрх хүндрэлүүдээс гарахын тулд их ачааллын загварчлалыг ашигласан Тау-ийн арга, түгээх сүлжээний

TYPE: Original article
PUBLISHED: December 29, 2025
DOI: 10.59264/jet.v3i1.109

эрчмийн алдагдлыг тогтмол гүйдлийн загвараар бодох, дундаж ачааллын загварчлалд тулгуурласан ачааллын графикийн хэлбэрийн коэффициентын арга болон бусад олон төрлийн хялбаршуулсан аргаар тооцоо хийдэг.

Зарим түгээх сүлжээнд дээрх аргуудаар тооцоо хийх боломжтой боловч 6-35 кВ-ын сүлжээнд энэ арга ихээхэн учир дутагдалтай юм. Иймд энэ судалгаанд өөр төрлийн хялбар аргыг буюу нэг тоноглолд хувирган шилжүүлэх эквивалент загварын аргыг авч үзсэн.

Эквивалент загварын аргаар тооцоо хийхдээ тооцоог хялбаршуулан бүх шугамыг нэг шугам, бүх трансформаторыг нэг трансформаторын параметрүүдээр орлуулан авч үздэг.

Фидерийн нийт шугамд үүсэх чадлын нийлбэр алдагдлыг ямар нэгэн эквивалент буюу нэгтгэгдсэн сүлжээнд гарна гэж үзвэл энэхүү нэгтгэгдсэн сүлжээний шугамын бодит R эсэргүүцлийг сүлжээний эхлэл буюу толгойн гүйдлийг ашиглан тодорхойлж болно.

$$R_{э}^{ш} = \frac{\Delta P_{\Sigma}}{3I_{тол}^{2}}. \qquad (1)$$

Энд: $R_{э}^{ш}$ - нэгтгэгдсэн шугамын бодит эсэргүүцэл, $I_{тол}$ - түгээх сүлжээний эхний шугамын гүйдэл, ΔP_{Σ} - түгээх сүлжээний шугамд гарах цахилгаан эрчим хүчний алдагдал.

Алдагдлын тооцоонд горимын өгөгдөлд эхлэлийн шугамаар дамжин урссан тодорхой хугацааны эрчим хүчийг авдаг. Ийм тохиолдолд (1)-ийг ашиглан загварын бодит, хуурмаг эсэргүүцэл, эхлэлийн шугамын гүйдлээр чадлын алдагдлыг олж болно.

6-35 кВ-ын түгээх сүлжээг эквивалент загвар ашиглан орлуулж бодит, хуурмаг эсэргүүцэл ба трансформаторын хоосон явалтын алдагдлыг бодит дамжууламж, хуурмаг дамжууламжаар орлуулж болно.

Эквивалент загвар, түүний шугамын бодит чадлын алдагдал үүсэх эсэргүүцлийг тодорхойлох алгоритмыг дараах байдлаар тодорхойлж болно. Өгөгдсөн i шугамд үүсэн ΔPi алдагдал тодорхой тул түүнийг дараах аргаар олно.

$$\Delta P_{i} = \frac{S_{i}^{2}}{U_{ном}^{2}} R_{i} \qquad (2)$$

Энд: R_i - авч үзэж буй i дугаар шугамын бодит эсэргүүцэл; ΔP_i – i - р шугамын бодит чадлын алдагдал; S_i - авч үзэж буй i дугаар шугамын бүрэн чадал $S_i=P_i+jQ_i$.

Сүлжээ n шугамтай үед шугамд үүсэх нийт алдагдлын хэмжээг дараах маягаар олно.

$$\Delta P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{n} \frac{S_{i}^{2}}{U_{ном}^{2}} R_{i} \qquad (3)$$

(1)-д (3)-д орлуулбал дараах хэлбэрт шилжинэ.

$$R_{э}^{ш} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{S_{i}^{2}}{U_{ном}^{2}} R_{i}}{3I_{тол}^{2}} \qquad (4)$$

(4)-ийн хүчдэлийн утга харьцангуй тогтмол учир

$$R_{э}^{ш} = \frac{\sum_{i=1}^{n} S_{i}^{2} R_{i}}{3I_{тол}^{2} U_{ном}^{2}} \qquad (5)$$

Толгойн хэсгийн гүйдлийг

$$I_{тол} = \frac{S_{тол}}{\sqrt{3}U_{тол}} \approx \frac{S_{тол}}{\sqrt{3}U_{ном}} \qquad (6)$$

олоод (5)-д орлуулбал дараах хэлбэрт шилжинэ.

$$R_{э}^{ш} = \frac{\sum_{i=1}^{n} S_{i}^{2} R_{i}}{3\left(\frac{S_{тол}}{\sqrt{3}U_{ном}}\right)^{2} U_{ном}^{2}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} S_{i}^{2} R_{i}}{S_{тол}^{2}} \qquad (7)$$

Энэхүү томьёонд бүрэн тодорхойлогдоогүй параметр нь шугам бүрийн бүрэн чадал (S_i) болох ба бусад параметрүүдийг нь бүтцийн схем, горимын анхдагч өгөгдлүүдийг ашиглан олж болно.

Түгээх сүлжээний шугам бүрээр урсах бүрэн чадлын тоо хэмжээг тодорхойлох нь тооцоог хүндрэлтэй болгодог. Энэ параметрийг олсон тохиолдолд эрчим хүчний алдагдлыг тогтсон горимын тооцоо, шинжилгээгээр тодорхойлж болно. Ийм аргаар тооцоог хийхэд ямар нэгэн хялбарчилгаа үүсэхгүй ба ачааллын хэмжилтийг хугацааны богино завсарт хийх шаардлагатай болдог. Энэ нь дээрх аргын үндсэн дутагдал юм.

Эквивалент загварын арга, эквивалент параметрийг ашиглахдаа салаа тус бүрийн урсгалыг тогтсон горимын тооцоонд тулгуурлан маш хялбар байдлаар авч үздэг.

Фидерийн эхлэлийн шугамаар дамжиж байгаа чадлыг трансформаторын номиналь чадалд нь жигд хуваарилан өгөх аргаар S_i чадлыг олно.

$$S_{i} = \frac{S_{тол}}{S_{тр\Sigma}} S_{тр\Sigma}^{i} \qquad (8)$$

Энд: $S_{тр\Sigma}^{i}$ - i-р шугамаар дамжих бүрэн ачаалал авах трансформаторуудын нийлбэр номиналь чадал ба $S_{тр}$- тухайн сүлжээний трансформаторуудын нийлбэр хүчин чадал.

Шугамын нэгтгэгдсэн эсэргүүцэл

$$R_{э}^{ш} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{S_{тол}}{S_{тр\Sigma}} S_{тр\Sigma}^{i}\right)^{2} R_{i}}{S_{тол}^{2}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} (S_{тр,\Sigma}^{i})^{2} R_{i}}{S_{тр\Sigma}^{2}} \qquad (9)$$

Энд: R_i - авч үзэж буй i шугамын бодит эсэргүүцэл бөгөөд ижил аргаар загварын хуурмаг эсэргүүцэл, бүрэн эсэргүүцлийг олно.

JET JOURNAL of ENERGY TRANSITION
TYPE: Original article
PUBLISHED: December 29, 2025
DOI: 10.59264/jet.v3i1.109

$$X_э^ш = \frac{\sum_{i=1}^{n}(S_{тр,\Sigma}^i)^2 X_i}{S_{тр\Sigma}^2} \quad (10)$$

Эквивалент загварын түгээх шугамын эсэргүүцэл

$$Z_э^ш = R_э^ш + jX_э^ш \quad (11)$$

Үүнтэй төстэй аргаар трансформаторын зэсийн бүрэн эсэргүүцэл, ган зүрхэвчийн дамжууламжийг шилжүүлэн олж болно.

Хүчний трансформаторын эсэргүүцэл

$$Z_э^т = R_э^т + jX_э^т = \frac{\sum_{j=1}^{m}(S_j^т)^2 Z_j^т}{S_{тр\Sigma}^2} \quad (12)$$

Бүрэн дамжууламж

$$\dot{Y}_э^{xx} = G_э^{xx} + jB_э^{xx} = \frac{\sum_{j=1}^{m}\Delta P_j^{xx}}{U_{тр}^2} + j\frac{\sum_{j=1}^{m}\Delta I_j^{xx} S_j^{ном}}{100 \cdot U_{тр}^2} \quad (13)$$

Нэг шугам ба нэг трансформаторт загварын хувьд орлуулгын схемийн хувьд бодит эсэргүүцэл, хуурмаг эсэргүүцэл болон дамжууламж хэлбэрээр тооцоохоос гадна дамжууламжийн оронд бодит, хуурмаг чадлаар орлуулан тооцоог нэлээд хэмжээгээр хялбаршуулах боломжтой байдаг.

Энэ тохиолдолд дээрх дамжууламжийг нэг шугам, нэг трансформатор бүхий загварын хувьд доорх хэлбэрээр тооцдог.

$$\dot{S}_э^{xx} = P_э^{xx} + jQ_э^{xx} = \sum_{j=1}^{m} P_j^{xx} + j\frac{1}{100}\sum_{j=1}^{m} I_j^{xx} S_j^{ном} \quad (14)$$

Дамжууламж нь холбогдож байгаа зангилааны хүчдэлийн утгаас хамаарч өөр өөр хэмжээтэй байдаг тул загварын трансформаторын өндөр хүчдэлийн шин дээрх хүчдэлийг тодорхойлохгүйгээр лавлахын өгөгдлөөр шууд тодорхойлж байгаа нь тооцоог ихээхэн хялбаршуулж байна. Эдгээр хүчдэлийн утгуудыг олохын тулд иж бүрэн горимын тооцоог хийх шаардлагатай тул энэхүү алгоритмын давуу тал үгүй болно. Бидний авч үзэж буй хялбаршуулалт нь түгээх сүлжээний зангилааны хүчдэлийн утгууд ойролцоогоор номиналь хүчдэлийн утгын ойролцоо байдаг, хазайлт нь цахилгаан техникийн дүрэмд зааснаар ±5% байдаг тул алдаа маш бага байдаг.

Энэхүү нэг трансформатор ба шугамын параметрийг тогтсон горимын тооцооны үр дүн, эсвэл түгээх сүлжээний бүтэц болон шугам, трансформаторын лавлахын өгөгдлийг ашиглан тодорхойлж болдог.

Эквивалент загвар, түүний үндсэн параметрүүдийг тодорхойлсны дараа цахилгаан эрчим хүчний алдагдал, түүний хувь хэмжээг дараах алгоритм, дараалаар гүйцэтгэнэ.

Шугамын цахилгаан эрчим хүчний алдагдал

$$\begin{cases} \Delta W_ш^P = \dfrac{\alpha^2 k_ф^2\left[(W_{тол}^P)^2 + (W_{тол}^Q)^2\right]}{T \cdot U_{ном}^2} R_э^ш \\ \Delta W_ш^Q = \Delta W_ш^P \dfrac{X_э^ш}{R_э^ш} \end{cases} \quad (15)$$

Хоосон явалтанд алдагдах эрчим хүчний алдагдлыг тодорхойлно.

$$\begin{cases} \Delta W_P^{xx} = T \cdot U_{тр}^2 G_э^{тр} \\ \Delta W_Q^{xx} = T \cdot U_{тр}^2 B_э^{тр} \end{cases} \quad (16)$$

Трансформаторын ороомог дээрх эрчим хүчний алдагдлыг олно.

$$\begin{cases} \Delta W_{т.о}^P = \dfrac{\alpha^2 k_ф^2\left[(W_{т.о}^P)^2 + (W_{т.о}^Q)^2\right]}{T \cdot U_т^2} R_э^{тр} \\ \Delta W_{т.о}^Q = \Delta W_{тр}^P \cdot \dfrac{X_э^{тр}}{R_э^{тр}} \end{cases} \quad (17)$$

Цахилгааны нийт болон бүтцийн алдагдлыг кВт.цаг, хувиар олж тодорхойлно.

$$\begin{cases} \Delta W_\Sigma^P = \Delta W_ш^P + \Delta W_{xx}^P + \Delta W_{т.о}^P \\ \Delta W_\Sigma^P = \Delta W_ш^Q + \Delta W_{xx}^Q + \Delta W_{т.о}^Q \end{cases} \quad (18)$$

$$\Delta W_{\Sigma\%}^P = \frac{\Delta W_\Sigma^P}{W_{тол}^P} \cdot 100\%, \quad \Delta W_{\Sigma\%}^Q = \frac{\Delta W_\Sigma^Q}{W_{тол}^Q} \cdot 100\% \quad (19)$$

Нийт цахилгаан түгээх сүлжээг тухайн сүлжээний базмал үзүүлэлтийг хангасан нэг шугам, нэг трансформаторт загвараар төлөөлүүлэн тооцоо хийх Эквивалент загварын аргыг энд ашигласан [7]. Учир нь Түгээх сүлжээний өнөөгийн техник, технологийн түвшин, анхдагч өгөгдлүүдийг бүрдүүлэх боломж зэрэг нь бусад аргуудаас олон дахин хялбар байгаа нь харагдаж байна.

Үүнээс гадна горимын тооцооны аргад [11] тулгуурласан эрчмийн алдагдлыг тодорхойлох Тау-гийн аргыг ашигласан программ [6-9], гүйдлийн балансын матрицын загвар ашигласан эрчмийн алдагдлын тодорхойлох программаас [5, 8] арга зүйн хувьд ихээхэн хялбар болсон.

III. Үр дүн, хэлэлцүүлэг

Бидний боловсруулсан TLoss-10 тооцооны программаар 6-35 кВ-ын өгөгдсөн фидерүүдийн шугам, трансформаторын анхдагч өгөгдөл, параметр, горимын параметрийн загварчлал байгуулан цахилгаан эрчим хүчний технологийн зарцуулалт буюу эрчим хүчний алдагдлыг сонгон авсан сарын хугацаанд, эсвэл бүтэн жилийн хугацаагаар тодорхойлох, нэгдсэн тооцоогоор түгээх сүлжээний төрөл бүрийн тайлангуудыг гарган өгөх, тухайн шугам сүлжээний үндсэн болон туслах тоноглолын мэдээллийн бааз, улмаар тухайн хугацааны

JET JOURNAL of ENERGY TRANSITION
TYPE: Original article
PUBLISHED: December 29, 2025
DOI: 10.59264/jet.v3i1.109

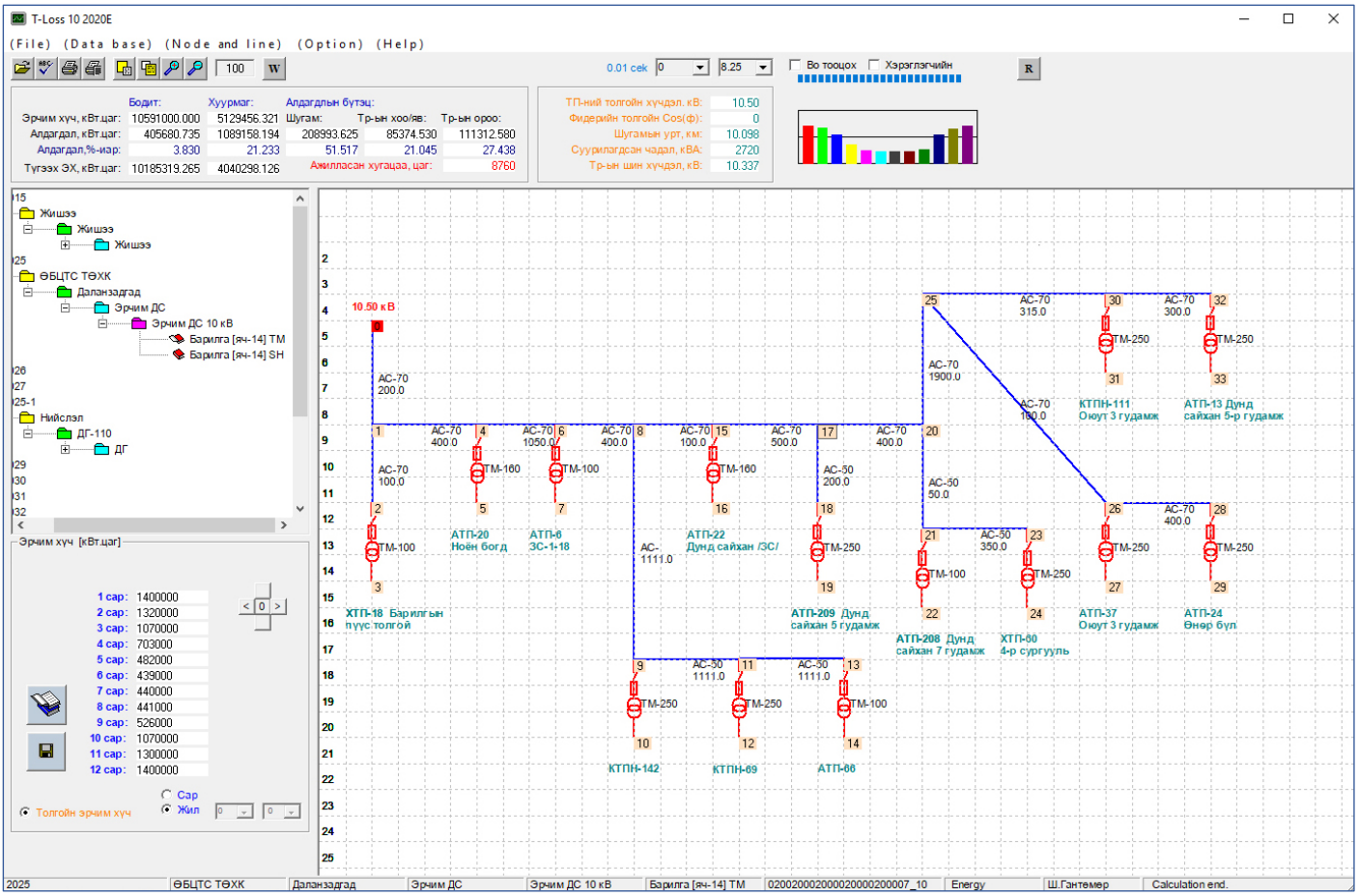
гэмтлийн нэгдсэн шинжилгээ, судалгааг гүйцэтгэх боломж бүрддэг.

Энэхүү программ хангамжийг ашиглах тооцооны алгоритмыг дор нэгтгэн оруулав. Үүнд:

1. Цахилгаан түгээх сүлжээний анхдагч өгөгдлүүдийг бүрдүүлэн программын фидер талбарт загварчлал үүсгэнэ.
2. Өгөгдсөн схемийн дагуу тоноглолыг нэмэх, түүний марк типийг сонгоно.
3. Тооцооны хугацааг сар бүрээр хийх тул түгээх сүлжээний эхлэлээр дамжсан цахилгаан тоог утгыг эрчим хүч талбарт оруулна.
4. Бодолт хийх товчлуурыг ашиглан цахилгаан эрчим хүчний алдагдлын тооцоог гүйцэтгэнэ.
5. Үр дүнг гаргах талбарт түгээх сүлжээний эхлэлээр дамжуулсан бодит хуурмаг эрчим хүч, алдагдал, алдагдлын хувь хэмжээ, нийт түгээх эрчим хүчийг харуулна.
6. Нэгдсэн параметр харуулах талбарт толгойн хүчдэл, нийт урт, нийт трансформаторын хүчин чадал, толгойн шугамын чадлын коэффициент зэргийг харуулна.
7. Тооцоог гүйцэтгэсний дараа тайлан товчлуурыг дарж тайлан хэлбэрээр хэвлэх хэсэг рүү шилжин үр дүнг цахим болон цаасаар хэвлэн авна.
8. Тайлангийн хэлбэрийн хувьд анхдагч өгөгдөл, орлуулгын схемийн параметрийн тооцоо, фидерийн схем, эрчмийн алдагдлын тооцооны үр дүн, ачааллын график зэргийг сонголтоор хэвлэнэ.
9. Тооцооны нөхцөлөөс хамаарч 35 кВ-ын сүлжээний хувьд “Во тооцох” сонголтын ашиглана. Харин хэрэглэгчийн тоноглолын алдагдлыг тооцохгүй үед “Хэрэглэгчийн” сонголтыг ашиглана.

Программ хангамжийн үндсэн фрагментийг дор зураг 1-т үзүүлэв. Программын хамгийн дээд хэсэгт цэс, түүний доор туулбар, түүний дор тооцооны үр дүнг үзүүлэх хоёр талбар, зүүн талд түгээх сүлжээний фидер сонгох хэсэг, эрчим хүчний өгөгдөл оруулах талбарыг байрлуулсан. Голын хэсэгт фидерийн загварчлал үүсгэх, параметр сонгох талбар байрладаг.

Ийм учраас цахилгаан сүлжээ, түүний дотроос түгээх сүлжээний цахилгаан эрчим хүчний техникийн цахилгааны алдагдал, түүний бүтцийг үнэн зөв, бодитоор тооцоолж, энэхүү алдагдлын бүтэц, хэмжээг багасгах арга хэмжээ, орчин үеийн технологийг боловсруулах,



Зураг 1. TLoss-10 программын үндсэн цонх

JET JOURNAL of ENERGY TRANSITION

TYPE: Original article
PUBLISHED: December 29, 2025
DOI: 10.59264/jet.v3i1.109

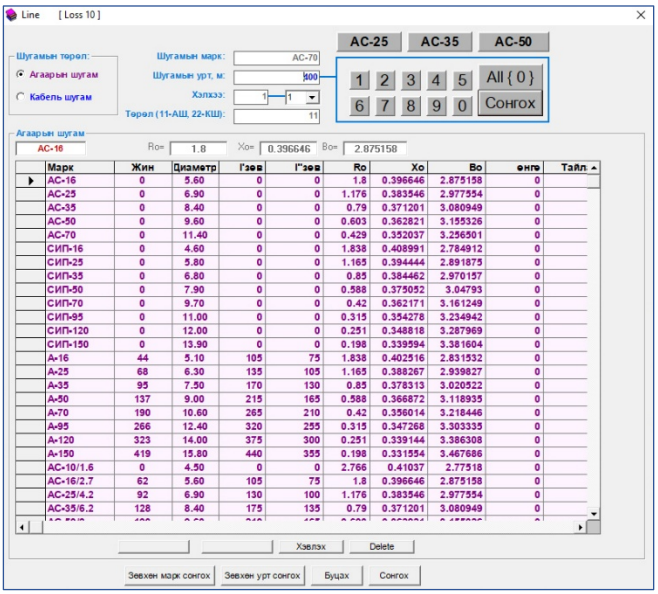
байж болох хамгийн үр дүнтэй, ашигтай горимыг барьж ажиллах ёстой. Үүнээс гадна оновчтой горим, түүний тохируулгын нөхцлийг бодитоор тодорхойлоход TLoss-10 программыг шинээр зохион боловсруулах, улмаар үйлдвэрлэлд ашиглах гол зорилготой юм.

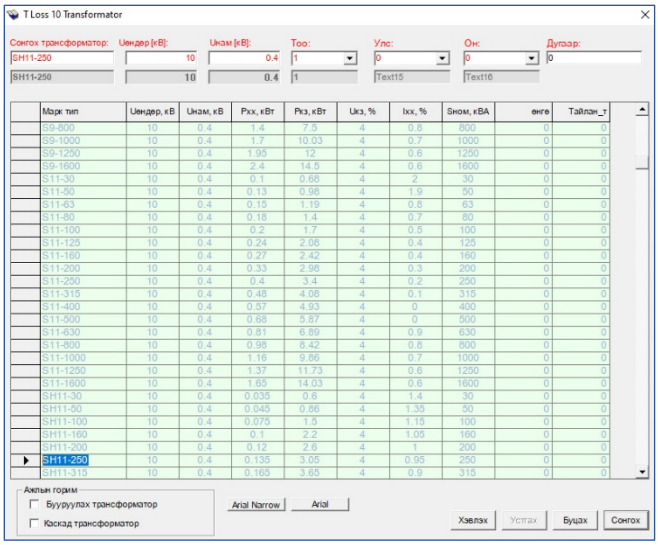
Программ хангамж ашиглан тооцоо, судалгаа хийхэд хоёр үндсэн анхдагч өгөгдлийг ашиглах шаардлагатай.

1. Цахилган түгээх сүлжээ, түүний схемийн өгөгдөл болох шугам, трансформаторын техникийн анхдагч өгөгдөл, зарчмын болон тооцооны схемүүд;
2. Цахилгаан түгээх сүлжээний тооцоо хийх фидерүүдийн эхлэл хэсгийн тоолуурын анхдагч өгөгдөл, тооцооны хугацаанд фидерийн эхлэлээр түгээсэн цахилгаан эрчим хүчний хэмжээ, эсвэл тоолуурын заалт гэх мэт.

Зохион боловсруулсан программаар 6-35 кВ-ын түгээх сүлжээнд цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээ, технологийн зарцуулалт, цахилгаан эрчим хүчний техникийн алдагдалд тооцоо, шинжилгээ хийхэд үйлдвэрлэлд ашиглах бүрэн боломжтой.

Цахилгаан эрчим хүч, техник технологийн хэрэглээ өсөж байгаатай холбоотойгоор түгээх сүлжээний чадал, эрчим хүчний алдагдал, зүй бус алдагдал, түүний хэмжээ улам нэмэгдэж, эдгээр цахилгаан эрчим хүчний зүй бус хэрэглээг техник технологийн зарцуулалт гэсэн нэр дор хамруулан тооцож их хэмжээний цахилгаан эрчим хүчийг борлуулан төлбөр тооцоог авч чадахгүй, ашиггүй алдаж байна.





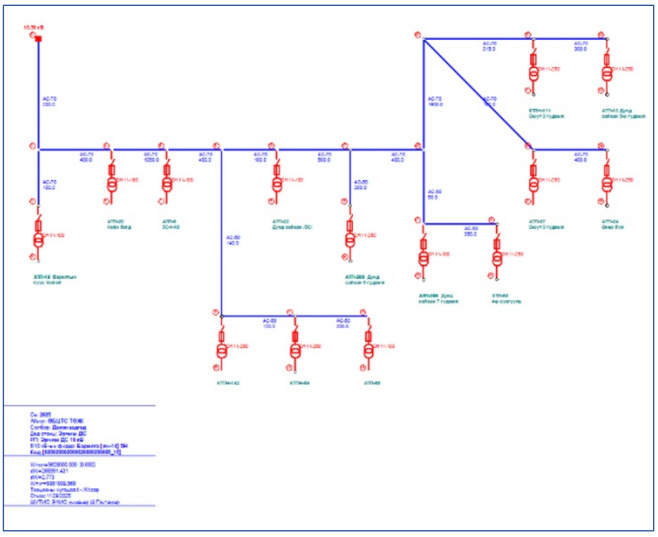
Зураг 2. Түгээх трансформатор ба шугамын лавлах өгөгдөл

Тус сүлжээний анхдагч өгөгдөл тохируулан цахилгаан дамжуулах агаарын шугам, кабель шугам, хүчний трансформаторын лавлахыг шинээр боловсруулна. Трансформаторын өгөгдөл орчин үеийн аморф зүрхэвчтэй SH11 маркийн трансформаторын лавлахыг өгөгдлийг шинээр нэмж оруулсан (Зураг 2). Энэ хоёр цонхонд тухайн программд ашиглагдаж байгаа агаарын шугам, кабель шугам, трансформаторын анхдагч өгөгдөл, хөндлөн огтлол, хүчин чадал, зөвшөөрөгдөх гүйдэл, богино залгааны алдагдал, хоосон явалтын гүйдэл зэрэг тооцоонд нэн шаардлагатай параметрүүдийг нэгтгэн өгөгдлийн бааз болгон оруулсан [12-15].

Тооцооны үр дүнг гаргах, хэвлэн авах боломжтой бөгөөд зураг 3-т фидерийн схем, түүний параметр, алдагдлын тооцооны товч үр дүнг хэвлэх хоёр тайлан үзүүлсэн байна. Фидерийн схемийг А4 хэмжээтэй цаасанд тохируулан хэвлэх ба трансформаторын доод талд ТП-ний дугаар, нэрийг, баруун талд нь марк типийг үзүүлдэг. Мөн тооцоо гүйцэтгэсэн инженерийн нэр, огноог давхар харуулна.

“Тооцооны үр дүн” тайлангаар тухайн фидерийн бүх тоноглолын нарийвчилсан анхдагч өгөгдөл, тоноглолын схем байрлах дугаар буюу зангилааны хялбар багана матриц, марк тип, урт, хэлхээ болон программаар бодсон бодит хуурмаг эсэргүүцэл, шугамын багтаамжийн дамжууламж, трансформаторын хоосон явалтын бодит, хуурмаг чадлыг алдагдал зэргийг үзүүлнэ.

TYPE: Original article
PUBLISHED: December 29, 2025
DOI: 10.59264/jet.v3i1.109



ТООЦООНЫ ҮР ДҮН

Он: 2025 Аймаг: ӨБЦТС ТӨХК Салбар: Даланзадгад Дэд станц: Эрчим ДС
РП: Эрчим ДС 10 кВ 6/10 кВ-ын фидер: Барилга [яч-14] ЗН [0200200020000200000008_10]

Эхлэх	Төгсөх	Шугамын Тр-ын марк	Урт, м Улс [он]	Хэлхээ, тоо [n]	№	R [Ом]	X [Ом]	B [См]10-6	Sxx [kBA]
0	1	AC-70	200.00	1		0.085800	0.070407	0.651300	---
1	2	AC-70	100.00	1		0.042900	0.035204	0.325650	---
2	3	SH11-100	0 [0]	1	[0]	15.000000	40.000000	---	0.08+j 1.15
1	4	AC-70	400.00	1		0.171600	0.140815	1.302600	---
4	5	SH11-160	0 [0]	1	[0]	8.593750	25.000000	---	0.10+j 1.68
4	6	AC-70	1050.00	1		0.450450	0.369639	3.419326	---
6	7	SH11-100	0 [0]	1	[0]	15.000000	40.000000	---	0.08+j 1.15
6	8	AC-70	400.00	1		0.171600	0.140815	1.302600	---
8	9	AC-50	140.00	1		0.084420	0.050795	0.441746	---
9	10	SH11-250	0 [0]	1	[0]	4.880000	16.000000	---	0.14+j 2.38
9	11	AC-50	120.00	1		0.072360	0.043539	0.378639	---
11	12	SH11-250	0 [0]	1	[0]	4.880000	16.000000	---	0.14+j 2.38
11	13	AC-50	200.00	1		0.120600	0.072564	0.631065	---
13	14	SH11-100	0 [0]	1	[0]	15.000000	40.000000	---	0.08+j 1.15
8	15	AC-70	100.00	1		0.042900	0.035204	0.325650	---
15	16	SH11-100	0 [0]	1	[0]	15.000000	40.000000	---	0.08+j 1.15
15	17	AC-70	500.00	1		0.214500	0.176019	1.628251	---
17	18	AC-50	200.00	1		0.120600	0.072564	0.631065	---
18	19	SH11-250	0 [0]	1	[0]	4.880000	16.000000	---	0.14+j 2.38
17	20	AC-70	400.00	1		0.171600	0.140815	1.302600	---
20	21	AC-50	50.00	1		0.030150	0.018141	0.157766	---
21	22	SH11-100	0 [0]	1	[0]	15.000000	40.000000	---	0.08+j 1.15
21	23	AC-50	350.00	1		0.211050	0.126967	1.104364	---
23	24	SH11-250	0 [0]	1	[0]	4.880000	16.000000	---	0.14+j 2.38
20	25	AC-70	1900.00	1		0.815100	0.668870	6.187352	---
25	26	AC-70	100.00	1		0.042900	0.035204	0.325650	---
26	27	SH11-250	0 [0]	1	[0]	4.880000	16.000000	---	0.14+j 2.38
26	28	AC-70	400.00	1		0.171600	0.140815	1.302600	---
28	29	SH11-250	0 [0]	1	[0]	4.880000	16.000000	---	0.14+j 2.38
25	30	AC-70	315.00	1		0.135135	0.110892	1.025796	---
30	31	SH11-250	0 [0]	1	[0]	4.880000	16.000000	---	0.14+j 2.38
30	32	AC-70	300.00	1		0.128700	0.105611	0.976950	---
32	33	SH11-250	0 [0]	1	[0]	4.880000	16.000000	---	0.14+j 2.38

Зураг 3. Фидерийн схем ба параметрийн тооцоо

Зураг 4-т үзүүлсэн “Эрчмийн алдагдлын тооцооны нэгдсэн үр дүн” тайлангаар тухайн фидерийн тооцооны хугацаа, нэгдсэн паарметрүүд, тоноглолын тоо ширхэг, марк тип, урт, фидерийн гол параметрүүд, тоноглол бүрийн цахилгаанын алдагдал кВт.цаг-аар, мөн хувиар, алдагдлыг хувь хэмжээ, түгээх эрчим хүчийг үзүүлдэг.

Даланзадгад хотын Барилга ячейк-14 фидерийг сонгон авч 2025 оны буюу одоогийн байгаа түвшинд боловсруулсан программаар тооцоо хийсэн. Зургаас харахад фидерийн тухай бүхий л мэдэл, ялагуяа цахилгааны алдагдлын бүтэц, хэмжээг ямар байгаа нь тодорхой харагдаж байна. нийт алдагдал 3,83 % гарсан нь харагдаж байна.

6/10 кВ-ын ЦШС-ний горим, чадал, эрчмийн алдагдлын тооцооны T-Loss 10 программ хангамж

ЭРЧМИЙН АЛДАГДЛЫН ТООЦООНЫ НЭГДСЭН ҮР ДҮН

Он: **2025** Аймаг: **ӨБЦТС ТӨХК** Салбар: **Даланзадгад** Дэд станц: **Эрчим ДС**
РП: **Эрчим ДС 10 кВ** 6/10 кВ-ын фидер: **Барилга [яч-14] ТМ** **[0200200020000200000008_10]**

Тооцоо гүйцэтгэсэн хугацаа :
1 -р сар, 2 -р сар, 3 -р сар, 4 -р сар, 5 -р сар, 6 -р сар, 7 -р сар, 8 -р сар, 9 -р сар, 10 -р сар, 11 -р сар, 12 -р сар

Фидерийн нэгдсэн параметрууд

Шугамын нэгдсэн бодит эсэргүүцэл, Ом	1.011
Шугамын нэгдсэн хуурмаг эсэргүүцэл, Ом	0.826
Трансформаторын нэгдсэн бодит эсэргүүцэл, Ом	0.578
Трансформаторын нэгдсэн хуурмаг эсэргүүцэл, Ом	1.654
Трансформаторын нэгдсэн бодит дамжуулалт, мкСм	91.200
Трансформатор (шугам)-ын нэгдсэн хуурмаг дамжуулалт, мкСм	640.800(28.981)

Дамжуулагчийн марк ба урт [метрээр[
1 AC-50 -- 2822
2 AC-70 -- 6165

Трансформаторын марк ба тоо
1 ТМ-100 -- 4
2 ТМ-160 -- 2
3 ТМ-250 -- 8

Фидерийн чадлын коэффициент :	0.900
Ачаалалт графикийн хэлбэрийн коэффициент [kформ]	1.323
Фазын коэффициент [Альфа]	1.044
Фидерийн толгойн хүчдэл, кВ	10.500
Трансформаторын шин дээрх хүчдэл, кВ	10.337
Фидерийн суурилагдсан хүчин чадал, кВА	2720.000
Фидерийн шугамын нийлбэр урт, км	10.098
Фидерийн ажилласан хугацаа, цаг	8760.000

Фидерийн эрчим хүчний алдагдлын нэгдсэн тооцоо

Шугамын эрчмийн алдагдал, кВт.цаг	208993.625
Трансформаторын ган дээрх эрчмийн алдагдал, кВт.цаг	85374.530
Трансформаторын ороомог дээрх эрчмийн алдагдал, кВт.цаг	111312.580
Трансформаторын нийлбэр эрчмийн алдагдал, кВт.цаг	196687.110
Фидерийн нийлбэр эрчмийн алдагдал, кВт.цаг	405680.735

Эрчим хүчний алдагдлын бүтэц

Шугамын эрчмийн алдагдал, %-иар	51.517
Трансформаторын ган дээрх эрчмийн алдагдал, %-иар	21.045
Трансформаторын ороомог дээрх эрчмийн алдагдал, %-иар	27.438
Фидерийн нийт эрчмийн алдагдал, %-иар	100.000

Фидерийн эрчим хүчний нэгдсэн тооцоо

Фидерийн толгойгоор дамжуулсан эрчим хүч, кВт.цаг	10591000.000
Фидерийн нийлбэр алдагдал, кВт.цаг	405680.735
Фидерийн нийлбэр алдагдал, %-иар	**3.830**
0.4 кВ-ын сүлжээгээр борлуулах эрчим хүч, кВт.цаг	10185319.265

Зураг 4. Ячейк-14 фидер хуучны ТМ болон S9 маркын трансформатортай үеийн тооцооны үр дүн

Өгөгдсөн фидерүүдийн хувьд горим, ажиллагаа, эдийн засгийн параметрүүдийг ашигтай байдалд шилжүүлэх, цахилгаан эрчим хүчний алдагдал, түүний бүтцэд эзлэх тоо хэмжээг багасгах техник-зохион байгуулалтын аргыг боловсруулна.

Дээрх тайлангуудаас гадна тооцооны үр дүнг хэвлэн авч болох 10 гаруй янзын тайлан, анхдагч өгөгдлийг бүтцийн загвараар зураг хэлбэрээр зурах замаар бааз руу оруулж хэвлэн авах боломжтой.

Эдгээр аргыг тухайн фидерийн горим, ажиллагаанд хэрэгжүүлэх үед гарах техник-эдийн засгийн хэмнэлтийн үзүүлэлт, техник-эдийн засгийн үр ашгийг тотодорхойлох зорилгоор цахилгаан эрчим хүчний алдагдлыг тодорхойлох тооцоо, судалгааг хийдэг. Үүнээс гадна алдагдлын хувь, хэмжээнд тулгуурлан цахилгаан түгээх сүлжээ, түүний горим ажиллагааг үнэлэх зорилготойгоор хийх тохиолдол ч байна [4].

Өгөгдсөн фидерүүдийн хувьд горим, ажиллагаа, эдийн засгийн параметрүүдийг ашигтай байдалд шилжүүлэх, цахилгаан эрчим хүчний алдагдал, түүний бүтцэд эзлэх тоо хэмжээг багасгах техник-зохион байгуулалтын аргыг боловсруулна. Эдгээр аргыг тухайн фидерийн горим, ажиллагаанд хэрэгжүүлэх үед гарах техник-эдийн засгийн хэмнэлтийн үзүүлэлт, техник-эдийн засгийн үр ашгийг тодорхойлох зорилгоор

TYPE: Original article
PUBLISHED: December 29, 2025
DOI: 10.59264/jet.v3i1.109

цахилгаан эрчим хүчний алдагдлыг тодорхойолох тооцоо, судалгааг хийдэг. Үүнээс гадна алдагдлын хувь, хэмжээнд тулгуурлан цахилгаан түгээх сүлжээ, түүний горим ажиллагааг үнэлэх зорилготойгоор хийх тохиолдол ч байна [7].

6/10 кВ-ын ЦШС-ний горим, чадал, эрчмийн алдагдлын тооцооны T-Loss 10 программ хангамж

ЭРЧМИЙН АЛДАГДЛЫН ТООЦООНЫ НЭГДСЭН ҮР ДҮН

Он: **2025** Аймаг: **ӨБЦТС ТӨХК** Салбар: **Даланзадгад** Дэд станц: **Эрчим ДС**
РП: **Эрчим ДС 10 кВ** 6/10 кВ-ын фидер: **Барилга [яч-14] SH** **[02002000200002000020000 8_10]**

Тооцоо гүйцэтгэсэн хугацаа :
1 -р сар, 2 -р сар, 3 -р сар, 4 -р сар, 5 -р сар, 6 -р сар, 7 -р сар, 8 -р сар, 9 -р сар, 10 -р сар, 11 -р сар, 12 -р сар

Фидерийн нэгдсэн параметрүүд

Шугамын нэгдсэн бодит эсэргүүцэл, Ом	1.012
Шугамын нэгдсэн хуурмаг эсэргүүцэл, Ом	0.829
Трансформаторын нэгдсэн бодит эсэргүүцэл, Ом	0.482
Трансформаторын нэгдсэн хуурмаг эсэргүүцэл, Ом	1.504
Трансформаторын нэгдсэн бодит дамжууламж, мкСм	15.550
Трансформатор (шугам)-ын нэгдсэн хуурмаг дамжууламж, мкСм	264.300(23.421)

Дамжуулагчийн марк ба урт [метрээр[
1 АС-50 -- 1060
2 АС-70 -- 6165
Трансформаторын марк ба тоо
1 SH11-100 -- 5
2 SH11-160 -- 1
3 SH11-250 -- 6

Фидерийн чадлын коэффициент :	0.900
Ачаалалын графикийн хэлбэрийн коэффициент [kформ]	1.323
Фазын коэффициент [Альфа]	1.044
Фидерийн толгойн хүчдэл, кВ	10.500
Трансформаторын шин дээрх хүчдэл, кВ	10.337
Фидерийн суурилагдсан хүчин чадал, кВА	2660.000
Фидерийн шугамын нийлбэр урт, км	7.225
Фидерийн ажилласан хугацаа, цаг	8760.000

Фидерийн эрчим хүчний алдагдлын нэгдсэн тооцоо

Шугамын эрчмийн алдагдал, кВт.цаг	209251.823
Трансформаторын ган дээрх эрчмийн алдагдал, кВт.цаг	14555.955
Трансформаторын ороомог дээрх эрчмийн алдагдал, кВт.цаг	96231.352
Трансформаторын нийлбэр эрчмийн алдагдал, кВт.цаг	110787.307
Фидерийн нийлбэр эрчмийн алдагдал, кВт.цаг	320039.130

Эрчим хүчний алдагдлын бүтэц

Шугамын эрчмийн алдагдал, %-иар	65.383
Трансформаторын ган дээрх эрчмийн алдагдал, %-иар	4.548
Трансформаторын ороомог дээрх эрчмийн алдагдал, %-иар	30.069
Фидерийн нийт эрчмийн алдагдал, %-иар	100.000

Фидерийн эрчим хүчний нэгдсэн тооцоо

Фидерийн толгойгоор дамжуулсан эрчим хүч, кВт.цаг	10591000.000
Фидерийн нийлбэр алдагдал, кВт.цаг	320039.130
Фидерийн нийлбэр алдагдал, %-иар	**3.022**
0.4 кВ-ын сүлжээгээр борлуулах эрчим хүч, кВт.цаг	10270960.870

Зураг 5. Ячейк-14 фидер SH11 маркийн аморф трансформатортай үеийн тооцооны үр дүн

Олон төрлийн аргаар цахилгаан эрчим хүчний хэмнэлт гаргаж болох боловч жишээ болгон өмнө авч үзсэн Даланзадгад хотын Барилга ячейк-14 фидерийн хувьд 2025 оны түвшинд болон эрчим хүчний алдагдал багатай орчин үеийн аморф трансформатортайгаар цахилгаан эрчим хүчний хэмнэлт гаргах тооцоо хийсэн (Зураг 5). Энэ тооцоо нь дээрх программыг зөвхөн трансформаторыг солих замаар тооцоог маш хурдан шуурхай хийж байна. Бусад программаар ингэж богино хугацаанд тооцоо хийх боломжгүй ба энэ нь тухайн программын нэгэн давуу тал юм.

Эрчим хүчний алдагдлыг бууруулахдаа алдагдлыг бүтцийг шинжлэн ямар арга хэрэглэх боломжтойг программаас гарган авч тохирох тоноглолоор орлуулан их хэмжээний хэмнэлт гаргах боломжтой.

Энэ тооцоонд трансформаторын ган зүрхэвч дээрх цахилгааны алдагдлыг бууруулахын тулд орчин үеийн шинэ технологийн аморф металл зүрхэвчтэй SH маркийн трансформатораар сольж тооцоог гүйцэтгэсэн ба дор зураг 6-д харьцуулан харуулав. Сонгон авсан ячейк-14 фидерийн хувьд жилд дунджаар 10.59 сая кВт.цаг эрчим хүч дамжуулсан бөгөөд эрчим хүчний алдагдал 3.83%-иас 3,02 % болж бараг 85821 кВт.цаг-аар буурч байна. Мөнгөн дүнгээр авч үзвэл жилд 18 гаруй сая төгрөгийн хэмнэлт гарч байна. Энэхүү хэмнэлтээр дээрх 14 трансформаторын 4-5 буюу 25 орчим хувийг солих боломжтой ба 4 жилийн хугацаанд бүрэн сольж дуусна. Түүнээс цааш эдийн засгийн хувьд ашигтай ажиллах болно. Одоо ажиллаж байгаа хуучин трансформаторааа 1 ш-ийг 3-4 сая төгрөгөөр зарж борлуулсан тохиолдолд 50 гаруй сая төгрөгийн нэмэлт орлого олох бөгөөд энэхүү орлогыг тооцвол 2 жилийн хугацаанд бүрэн шинэчлэх боломжтой нь харагдаж байна.

	Бодит:	Хуурмаг:	Алдагдлын бүтэц:		
Эрчим хуч, кВт.цаг:	10591000.000	5129456.321	Шугам:	Тр-ын хоо/яв:	Тр-ын ороо:
Алдагдал, кВт.цаг:	405680.735	1089158.194	208993.625	85374.530	111312.580
Алдагдал,%-иар:	3.830	21.233	51.517	21.045	27.438
Түгээх ЭХ, кВт.цаг:	10185319.265	4040298.126	Ажилласан хугацаа, цаг:		8760

	Бодит:	Хуурмаг:	Алдагдлын бүтэц:		
Эрчим хуч, кВт.цаг:	9628000.000	4663054.051	Шугам:	Тр-ын хоо/яв:	Тр-ын ороо:
Алдагдал, кВт.цаг:	266991.431	637625.006	172928.859	14597.672	79464.900
Алдагдал,%-иар:	2.773	13.674	64.769	5.467	29.763
Түгээх ЭХ, кВт.цаг:	9361008.569	4025429.045	Ажилласан хугацаа, цаг:		8760

Зураг 6. Уламжлалт ТМ ба SH11 маркийн аморф трансформатортай үеийн алдагдлын харьцуулалт

IV. Дүгнэлт

Энэхүү программ хангамж боловсруулах ажлыг гүйцэтгэсний дүнд дараах дүгнэлт, шийдлийг гаргаж байна. Үүнд:

1. Цахилгаан түгээх сүлжээний үндсэн тоноглолын параметрийг цуглуулан бүрдүүлэх, нэгтгэн бааз үүсгэхдээ монгол улсад одоогоор ашиглаж байгаа шугам, трансформатор, тоноглолын лавлахын нэгдсэн өгөгдлүүд, үүнээс өмнө хийсэн судалгаа, шинжилгээний гэрээт ажил, төслийн үндсэн материалыг ашигласан болно [7,9,11]. Үүний зэрэгцээ сүүлийн үеийн цахилгаан эрчим хүчний технологийн зарцуулалт багатай, орчин үеийн тоноглолын баазыг бүрдүүлэх шаардлагатай байсан.
2. Шинэ төрлийн орчин үеийн, гадаад улсын сүүлийн үеийн тоноглол, түүний техникийн параметрийг өгөгдлийн баазад нэмж оруулах боломжтойгоор боловсруулсан. Программын өгөгдлийн баазыг ашиглан 6-35 кВ-ын цахилгаан түгээх сүлжээнд тооцоо хийдэг, мөн өгөгдлийн баазын алдааг хянах боломжтой. Түгээх шугам, трансформаторын өгөгдөл баазад монгол улсад ашиглагдаж байгаа гантхөнгөнцагаан, бүрээстэй дамжуулагч, хөнгөн-цагаан дамжуулагч болон уламжлалт тосон трансформомар (ТМ, S9) болон битүүмжлэгдсэн S11, хайлшин зүрхэвчтэй SH11 маркийн орос, хятад тоноглолоор бүрдүүлсэн.
3. Сонгон авсан Даланзадгад хотын Барилга ячейк-14 фидерийн боловсруулсан программ хангамж ашиглан маш богино хугацаанд, ямар ч хүндрэлгүйгээр тооцоо хийж байгаа бөгөөд жилд дунджаар 10.59 сая кВт.цаг эрчим хүч дамжуулж 0,405 сая кВт.цаг нь цахилгааны

TYPE: Original article
PUBLISHED: December 29, 2025
DOI: 10.59264/jet.v3i1.109

алдагдал болж байна. Алдагдал бууруулах тооцоог программ ашиглан хийхэд эрчим хүчний алдагдал 3.83%-иас 3,02 % болж бараг 85821 кВт.цаг-аар буурсан тооцооны үр дүнг программаас гарган авч байна.

4. Энэ судалгааны ажилд монгол улсын онцлогт тохирсон, анхдагч өгөгдлийн бүрэн бааз бүхий албан ёсны зохиогчийн эрхтэй TLoss-10 программ хангамжийг боловсруулан ашигласан нь бас нэгэн нэгэн давуу тал юм. Монгол улсад хийгдэж байгаа зарим нэг судалгааны ажил, төсөл зэрэгт албан ёсны зөвшөөрөлгүй программ хангамжийг одоог хүртэл ашигласаар байгааг анхаарах нь зүйтэй. Үүнээс болж манай улсад тооцооны программ хангамж боловсруулах ажлууд бараг хөгжихгүй байна.
5. Цаашид энэхүү программыг хөгжүүлэн бусад бүс нутгийн сүлжээнд хэрэгжүүлэх, программ хангамжийг нэгдсэн мэдээллийн системтэй холбох, хяналтад гар утас ашиглах, сар бүрийн дундаж температурын утгууд болон шугамын хийцийн онцлогуудыг нарийвчлан тооцох замаар улам сайжруулах нь зүйтэй.
6. Цахилгаан эрчим хүчний алдагдлын программд эрчим хүчний хэмнэлтийн тооцооны нэмэлт хэсгийг оруулан аморф трансформатор суурилуулах, шугамын огтлол өөрчлөх, трансформаторын хүчин чадал өөрчлөгдөх, ачаалал шилжүүлэх үед эдийн засгийн үр ашгийг нарийвчлан тооцоолох, улмаар хөрөнгө оруулалт, үр ашиг, алдагдлыг хамтад нь тооцоо хийдэг хиймэл оюун ухааны элементүүдийг агуулсан программ боловсруулах чиглэлд голлон анхаарч “Алдагдлын тооцооны программ” биш “Хэмнэлтийн тооцооны программ” боловсруулах чиглэлд ажиллах шаардлагатай байна.

Ашигласан материал

[1] Sh. Gantumur, D. Sodnomdorj, S. Uuganbayar et al., "Result of Calculation for the Energy Losses of 6-0.4 kV Electrical Network in the Erdenet Factory," in Proc. 9th Russian-Korean Int. Symp. Science and Technology (KORUS 2005), 2005, doi: 10.1109/KORUS.2005.1507740.

[2] D. Sodnomdorj, Ch. Zunduisuren, Sh. Gantumur "Complex measures for loss reduction of 0.4 kV electricity air line in the Gehr district and improvement of network mode," in Proc. 8th Russian-Korean Int. Symp. Science and Technology (KORUS 2004), 2004, doi: 10.1109/KORUS.2004.1555354.

[3] Gupta, P., Yamada, K. (1972). Adaptive Short-Term Forecasting of Hourly Loads Using Weather Information. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, PAS-91 (5), 2085–2094. doi: 10.1109/tpas.1972.293541

[4] Bakulevskiy, V. (2016). Research into the influence of climatic factors on the losses of electric energy in overhead power transmission lines. Eastern-European Journal of Enter-prise Technologies, 5/8 (83), 4–8. doi: 10.15587/1729-4061. 2016.80072

[5] Sh. Gantumur and D. Gandorj et al., "Algorithm for power and energy losses in 0.4 kV electrical networks of Mongolia," in Proc. IFOST 2016, pp. 128–130, 2016.

[6] Д. Гандорж, Д. Содномдорж “Цахилгаан шугам сүлжээний горим ба чадал, энергийн алдагдлыг тодорхойлох Эрчим 2.0 программ хангамж,” Эрчим хүч & engineering, no. 1, pp. 48–49, 2000.

[7] Б. Гүндэгмээ, “6-10 кВ-ын ЦШС-ний эрчмийн алдагдлыг бууруулах арга замууд,” ЭХ-ний салбарын техник, технологийн хөгжил-2017 онол практикийн бага хурлын эмхтгэл, Дархан-Уул аймаг, Apr. 27, 2017, pp. 339–348.

[8] Б. Барсцогт, “Ховд аймгийн 6 кВ-ын хуваарилах шугам сүлжээний эрчмийн алдагдлыг бууруулах арга замууд,” Эрчим хүч-техник, технологи сэдэвт эрдэм шинжилгээний хурлын эмхтгэл, Улаанбаатар, ШУТИС, 2017, pp. 42–45.

[9] А. Энх-Амгалан, “Баруун-Хараагийн 10 кВ-ын шугамын горим ажиллагааг сайжруулах судалгаа,” Эрчим хүч, уул уурхайн салбарын мэдээлэл, технологийн хөгжил ЭШХ, ISSN 1458-1444, 2023.

[10] Sh. Gantumur, D. Sodnomdorj, D. Gandorj et al., "Result of Calculation for the Energy Losses of 6-0.4 kV Electrical Network in the Erdenet Factory," IEEE Xplore, Feb. 20, 2007, doi: 10.1109/IFOST.2006.312244.

[11] Sh. Gantumur and N. Jigjidsuren, "The Newton's second order methods for calculating steady states of power electric systems," in IFOST 2013, IEEE, Ulaanbaatar, Mongolia, Jul. 2013, doi: 10.1109/IFOST.2013.6616936.

[12] Sh. Ganzorig and Sh. Gantumur, "Relationship between Energy Consumption and Economic Growth of Mongolia during the 1981–2016 Years (Cointegration and Causality Analysis)," Dec. 2024, doi: 10.4236/oalib.1112710.

[13] Ш.Гантөмөр, "Цахилгаан системийн тогтсон горимын тооцооны математик загвар, аргачлал, алгоритм боловсруулах: Докторын ажлын диссертаци," Ulaanbaatar, Mongolia: МУШУТИС, 2005, 180 x.

[14] Ш.Гантөмөр, "Цахилгаан шугам сүлжээ, систем: Их дээд сургуулийн сурах бичиг," Ulaanbaatar, Mongolia: Соёмбо принтинг хэвлэл, 2025, ISBN 99929-5-724-7.

[15] Sh. Gantumur and G. Bekhbat, "Challenges of hybrid DGs for islanded micro-grid operation in west region energy system of Mongolia," in Proc. 2016 11th Int. Forum on Strategic Technology (IFOST 2016), 2017, pp. 237–242.

TYPE: Original article
PUBLISHED: December 29, 2025
DOI: 10.59264/jet.v3i1.109

Зохиогчид

GANZORIG Shagdarsuren

2007 онд ШУТИС-ийн ЭХИС-д цахилгаан системийн бакалаврын зэрэг, 2010 онд Цахилгаан системийн магистрын зэрэг, 2015 онд Сөүлийн үндэсний их сургуульд Эрчим хүчний шинжлэх ухааны магистрын зэрэг хамгаалсан. Цахилгаан системийн горимын оновчлол, тогтсон горим, чадал эрчмийн алдагдал, СЭХ-ний шинэ технологи, Хүлэмжийн хийг бууруулах чиглэлээр судалгаа хийдэг. Одоо ШУТИС-ийн ЭХИС-д цахилгааны инженерчлэлийн докторантурт суралцаж байна.
https://orcid.org/0000-0002-7095-7137

OYUNTULKHUUR Erdene-Ochir

2024 онд ШУТИС-ийн ЭХИС-ийг Цахилгааны инженерийн бакалаврын зэрэг, 2025 Цахилгааны инженерчлэлийн магистрын зэрэг хамгаалсан. Цахилгаан шугам сүлжээний зураг төсөл, цахилгаан шугам сүлжээний горимын тооцооны загварчлал, цахилгаан системийн горимын тохируулга, хүчний электроникийн төхөөрөмж, өндөр хүчдэлийн тогтмол гүйдлийн шугам (HVDC)-ын чиглэлээр судалгаа хийдэг.
https://orcid.org/0009-0005-3108-2154

MUNKHBOLOR Gantumur

2024 онд Г.В.Плехановын нэрэмжит Оросын эдийн засгийн их сургуулийн салбар сургуулийн лицей сургуулийг төгсөөд Эрчим хүчний инженерчлэлийн сургуульд цахилгаан инженерийн чиглэлээр суралцаж байна. Цахилгаан эрчим хүчний алдагдлыг тодорхойлох, тооцооны программ хангамж боловсруулах чиглэлээр судалгаа хийж эхэлж байна. Одоогоор 2 өгүүлэл, 1 илтгэл, 2 гэрээт ажилд оролцсон.
https://orcid.org/0009-0000-6555-3448

GANTUMUR Shagdarsuren

1995 онд МУТИС-ийн ЭХИС-ийг цахилгаан системийн автоматжуулалтын мэргэжлээр бакалаврын зэрэг, 1997 онд МУТИС-ийн ЗОСТ-д магистрын зэрэг хамгаалсан. 2005 онд “Цахилгаан системийн тогтсон горимын тооцооны математик загвар, аргачлал, алгоритм боловсруулах” сэдвээр техникийн ухааны докторын зэрэг хамгаалсан. Цахилгаан системийн тогтсон горим, горимын оновчлол, цахилгаан системийн болон алдагдлын тооцооны программ хангамж боловсруулах чиглэлээр судалгаа хийдэг.
https://orcid.org/0009-0006-7384-2745