

Торайғыров университетінің хабаршысы  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
Вестник Торайғыров университета

---

# Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы  
1997 жылдан бастап шығады



## ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия  
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 2 (2023)

Павлодар

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**  
**Вестник Торайгыров университета**

**Энергетическая серия**  
выходит 4 раза в год

---

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о постановке на переучет периодического печатного издания,  
информационного агентства и сетевого издания  
№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития  
Республики Казахстан

**Тематическая направленность**

публикация материалов в области электроэнергетики,  
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и  
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

**Подписной индекс – 76136**

<https://doi.org/10.48081/ABAC7746>

---

**Бас редакторы – главный редактор**

Кислов А. П.

*к.т.н., доцент*

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD, доцент*

Ответственный секретарь

Приходько Е. В., *к.т.н., профессор*

**Редакция алқасы – Редакционная коллегия**

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*  
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*  
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*  
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*  
Новожилов Т. А., *к.т.н., доцент (Россия)*  
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*  
Нефтисов А. В., *доктор PhD, доцент*  
Шокубаева З. Ж. *технический редактор*

---

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/NXIX3331>

**\*Б. Онгар<sup>1</sup>, Г. К. Смагулова<sup>2</sup>, Е. А. Сарсенбаев<sup>3</sup>,  
Э. А. Нурмадиева<sup>4</sup>, Е. Е. Сеитбек<sup>5</sup>**

<sup>1,3</sup>Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.;

<sup>2,4</sup>Ғ. Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.;

<sup>5</sup>Логистика және көлік академиясы, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

\*e-mail: [b.ongar@satbayev.university](mailto:b.ongar@satbayev.university)

## **СТАЦИОНАРЛЫҚ РЕЖИМДЕРДІ ЕСЕПТЕУДЕ ЭЛЕКТР ЖЕЛІЛЕРІНІҢ РЕЖИМДЕРІН МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ ОҢТАЙЛАНДЫРУ**

*Бұл жұмыс энергетиктерге арналған оқулық болып табылады және оның ішінде энергетикалық режимді басқару мәселелерінің шағын бөлігі қарастырылады, бұл тек режимді басқару мәселелері бойынша білімге негіз болады.*

*Мақалада режимді оңтайландырудың заманауи мүмкіндіктеріне көп көңіл бөлінеді. Қазіргі уақытта режимді оңтайландырудың көптеген мәселелері бойынша әдістемелік материал мен есептеу әдістерін құру бойынша белсенді жұмыстар жүргізілуде.*

*Жалпы электр желілері төртұштықтар құрамына кіретін болғандықтан, төртұшты электр тізбегінің Т, П, және Г-типті сұлбалардан тұратындығын білеміз. Соның ішінде қарастырып отырған желінің орынбасу сұлбасында П-типті сұлба алынған, және соған байланысты есептеулер жүргізілген. Сондай-ақ желіде бойлай таратылған біріншілік және екіншілік параметрлері анықталынған. Біріншілік параметрлер құрамында меншікті активті кедергі, меншікті индуктивтілік, меншікті сыйымдылық және меншікті өткізгітік мәндерін қарастырсақ, ал екіншілік параметрлер құрамына толқындық кедергі мен тарату коэффициенттерін қарастырамыз.*

*Гистерезис шығынын сызықтық емес жиілікке тәуелді кедергі ретінде қарастырып шығынын кернеуге емес, магнит ағынына*

*тікелей байланысты екенін анықтаймыз. Демек, 60 Гц жиілігі үшін орташа шығынды үйлестіру қозу уақыт аймағында дұрыс ағын-ток траекториясы жүреді дегенді білдірмейтіні нақты өзекті болып келеді. Трансформатордың қалдық ағыны-іске қосу токтарын модельдеу үшін гистерезис тұзағы алынады. Режимді оңтайландыру – әрқашан өзекті болған тақырып.*

*Кілтті сөздер: модернизация, оқшаулау, орамдар, оңтайландыру, магниттеу, гистерезис тұзағы.*

## **Кіріспе**

Электр жүйелері мен электр станцияларының режимдерін оңтайландыру энергетикалық жүйелерді басқару теориясы мен әдістерінің бір бөлімі болып табылады.

Электр желілерінің орынбасу сұлбаларын математикалық сипаттау және талдау графтар теориясын қолдана отырып жүргізіледі. Графтар теориясы мен электр тізбектері теориясының қарапайым ұғымдарының сәйкестігі айқын, мысалы: бір сызықты орын басу сұлбасында күрделі тұйықталған үш фазалы электр желісі графтарға бағытталған байланыстармен сәйкес келеді, олар ағаш және хорда тізбектері тәріздес шың мен қабырғадан тұрады [1].

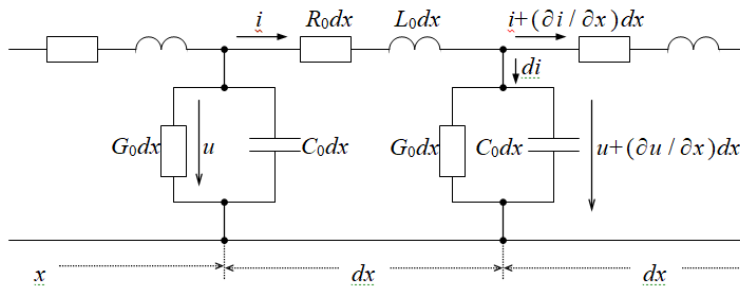
Электрэнергетика жүйесіндегі электр желілерінің басым көпшілігі толқын ұзындығымен салыстырғанда олардың ұзындықтары біршама аз болады. Осыған байланысты желілердің таратылған көрсеткіштерін есептеу кезінінде электр желілерін есептеу біршама қиындық тудырады, оларды елеусіз нақтылау кезінде есептеу нәтижелерінің көрінуін жояды. Сондықтан 300 км-ге дейінгі электр желілерін есептеу кезінде оның параметрлерінің шоғырлануын болжау арқылы есептеу жүзеге асырылады.

Мұндай болжам бойынша есептеулердің қателіктері 1...2 %-дан аспайды, бұл инженерлік есептеулер үшін өте қолайлы. Электр желісінің элементін оның параметрлерімен көрсету орынбасу сұлбасы деп аталады. Симметриялық режимдерді есептеу кезінде орынбасу сұлбасы бір фаза үшін жасалады [2–3].

Электр желілерін есептеу кезінде әуе және кабельдік электр беріліс желілері жалпы жағдайда II-тәрізді орынбасу сұлбасы арқылы ұсынылады (1-сурет). Мұндай сұлба желінің ең ыңғайлы есептеу моделі болып табылады, ол желіде болып жатқан құбылыстардың негізгі сипаттамаларын көрсетеді.

Біз бүкіл желіні ұзындығы  $dx$  қарапайым учаскелерге бөлеміз және желінің басынан  $x$  қашықтықта орналасқан осындай учаскелердің бірін қарастырамыз. Учаскенің орынбасу сұлбасы келесідей болады (1-сурет) Мұндағы  $u$  және  $i$  – қарастырылып отырған учаскенің басындағы кернеу

және ток. Учаскенің соңындағы кернеу мен токтың мәні келесіден мәнге ие болады:  $\Delta u = \frac{\partial u}{\partial x} dx$  және  $\Delta i = \frac{\partial i}{\partial x} dx$ .



Сурет 1 – Электр беріліс желісінің орынбасу сұлбасы

Кернеу және ток ( $u, i$ ) функциясы  $t$  және  $x$  параметрлеріне бағынышты, олар желіде уақыт бойынша өзгереді, сондықтан орынбасу сұлбасы үшін дифференциалдық теңдеулер жеке туындыларда жасалуы керек.

Контур үшін Кирхгофтың 2-ші заңы бойынша теңдеу:

$$-u + R_0 dx \cdot i + L_0 dx \frac{\partial i}{\partial t} + u + \frac{\partial u}{\partial x} dx = 0.$$

Жеңілдетілгеннен кейін келесідей теңдеу аламыз:

$$-\frac{\partial u}{\partial x} = R_0 i + L_0 \frac{\partial i}{\partial t} \tag{1}$$

Ом заңы мен Кирхгофтың 1-ші заңы бойынша:

$$di = (u + \frac{\partial u}{\partial x} dx)G_0 dx + C_0 dx \frac{\partial}{\partial t} (u + \frac{\partial u}{\partial x} dx) = uG_0 dx + C_0 dx \frac{\partial u}{\partial t}$$

Берілген өрнекте біз екінші ретті  $d^2 x$  құрамдас бөліктерді елемейміз. Түйін үшін Кирхгофтың 1-ші заңы бойынша:

$$i = i + \frac{\partial i}{\partial x} \cdot dx + di = i + \frac{\partial i}{\partial x} \cdot dx + uG_0 dx + C_0 \cdot dx \frac{\partial u}{\partial t}$$

Жеңілдетілгеннен кейін келесідей теңдеу аламыз:

$$-\frac{\partial i}{\partial x} = G_0 u + C_0 \frac{\partial u}{\partial t} \quad (2)$$

(1) және (2) теңдеулер екі сымды желінің негізгі дифференциалдық теңдеулері болып табылады, олар желінің көрсеткіштерін есептеген кезде әртүрлі жағдайда болады.

### Материалдар және әдістер

Электр желісінің тұрақты режимі деп тізбек элементтеріндегі ток пен кернеудің тұрақты немесе апаттан кейінгі режимін, сондай-ақ қуаттары өзгеріссіз бірқалыпты болып келетінін түсінеміз.

Желідегі тұрақты режимді есептеудің негізгі мақсаттары мен міндеттерін келесідей қарауға болады:

- желі элементтерінің режим көрсеткіштерінің мүмкіндігін тексеру, мысалы, оқшаулағыштың жұмыс жағдайына сәйкес кернеу мәндерін, қыздыру сымдарының шарттарына сәйкес ток мәндерін, пайдалану шарттарына сәйкес қуаттың мәндерін тексеру, яғни активті және реактивті қуаттарды;

- энергетиканың, яғни электроэнергетиканың сапасын бағалау үшін желідегі кернеу ауытқауын нақты мәндерден берілген кернеу ауықуларымен салыстыру арқылы жүзеге асады;

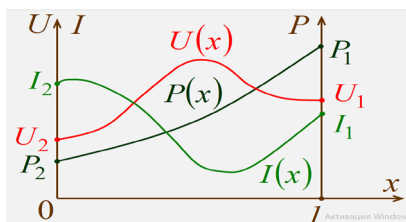
- шығын мәндері бойынша режимнің үнемділігін анықтау үшін электр желісіндегі қуат пен электр энергиясы қажет.

### Активті қуатты анықтау:

$$P(x) = U(x) \cdot I(x) \cdot \cos[\psi_U(x) - \psi_I(x)], \text{ Вт}$$

бұл желінің басына қарай монотонды түрде өседі.

$U(x)$ ,  $I(x)$ ,  $P(x)$  тәуелділік графиктері және  $\eta = (P_2/P_1)$  ПӘК-і  $< 1$  желінің тұрақты режимін талдау үшін қолданылады (2-сурет).



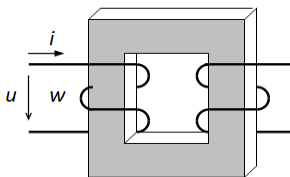
Сурет 2 –  $U(x)$ ,  $I(x)$ ,  $P(x)$  тәуелділік графиктері [3]

Электр желісінің тұрақты режимін есептеу үшін бастапқы деректер:

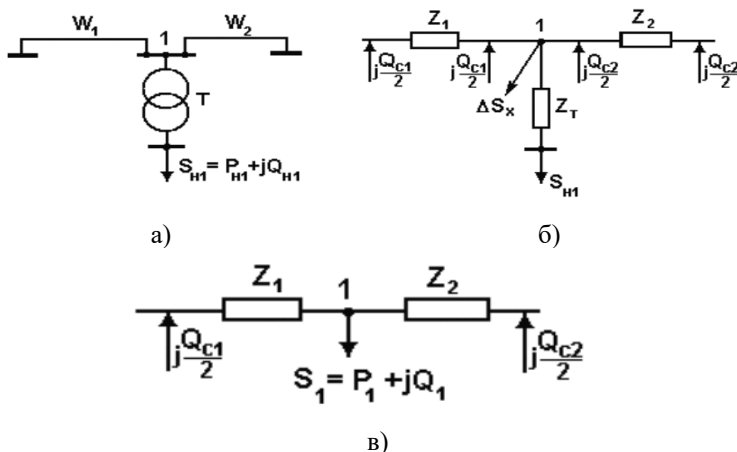
- оның жеке элементтері арасындағы өзара байланысын сипаттайтын электр желісінің құрылымдық сұлбасы;

- электр желісіндегі орын басу тізбегінің көрсеткіштері деп аталатын жеке элементтердің, яғни кедергілердің, өткізгіштердің, түрлендіру коэффициенттеріннен тұратын жеке элементтердің орынбасу сұлбасы;
- жүктемедегі түйіндердің активті және реактивті қуаттарының мәндері;
- электр желісінің түйіндерінің біріндегі кернеудің мәні, кернеу бойынша базистік түйіні деп аталатын.

Қарапайым жағдайларда, егер жұптасқан физикалық шамалардың бірінің уақыт бойынша өзгеру заңы берілсе немесе есептелуі мүмкін болса, онда басқа шаманың уақыт бойынша өзгеру заңы берілген функцияны сызықтық емес элементтің сәйкес физикалық сипаттамасына проекциялау арқылы графикалық түрде алынуы мүмкін [4]. Айнымалы кернеу (трансформатордағы бос жүріс тогы) режиміндегі сызықтық емес орам тогының графикалық есебін көрейік (3-сурет).



Сурет 3 – Трансформатордағы бос жүріс тогы [3]



Сурет 4 – Электр желісінің тізбегінің үзіндісі (а), оның толық орынбасу сұлбасы [5] (б) және 1 түйіндегі есептік орынбасу сұлбасы (в)

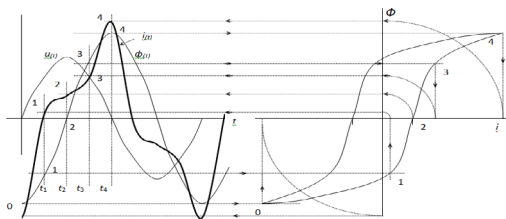
Катушканың қысқыштарына  $u(t) = U_m \sin \omega t$  кернеуі қосылсын. Өзектегі магнит ағыны кернеумен, индукция теңдеуімен байланысты:

$$u = -e = w \frac{d\phi}{dt},$$

$$\phi(t) = \frac{1}{w} \int u \cdot dt = \frac{U_m}{\omega w} (-\cos \omega t) = \Phi_m \sin(\omega t + 90^\circ).$$

$u(t)$  және  $\phi(t)$  функцияларының диаграммалары 5-суретте көрсетілген. Оң жақта  $\Phi_m$  магнит ағынының есептік амплитудасына сәйкес келетін гистерезис тұзағы түріндегі  $\phi(i)$  магниттік тізбегінің вебер-амперлік сипаттамасы берілген.  $i(t)$  берілген функцияның  $\phi(t)$  есептік функциясын проекция әдісімен  $\phi(i)$  магниттік тізбегінің вебер-амперлік сипаттамасынан алынады.

$i(t)$  берілген функцияның графикалық диаграммасын құру үшін зерттелетін уақыт интервалы ( $T$  период)  $\Delta t$  жеке бөліктерге бөлінеді. Масштабта табылған  $i_0, i_1, i_2, \dots$  функцияның сәйкес мәндері әр уақыт нүктесі  $t_0, t_1, t_2, \dots$  үшін диаграммада көрсетіледі. Жеке нүктелер тегіс қисықпен қосылады, нәтижесінде берілген функцияның  $i(t)$  графикалық диаграммасы пайда болады (5-суретте қалың сызықпен көрсетілген).



Сурет 5 – Графикалық диаграмма [8]

Есептің шешімін талдау бойынша, орамның магниттеу тогы синусоидалы емес формалы және құрамында тек тақ гармоникалар бар екендігін көреміз.

### Нәтиже және талқылау

$\lambda$ -і гистерезис тұзағы тұрақты токқа жақын периодты қозу үшін ток пен ағын арасындағы лездік қатынасты береді. Естеріңізге сала кетейік, В-Н сипаттамасын масштабтау арқылы  $\lambda$ -і алуға болады.  $\lambda$ -і гистерезис тұзағының арқасында қалыпты магниттік қанықтыру қисығын береді (6-сурет). (Әр түрлі көздерде қалыпты қанығу қисығы «бастапқы», «тұрақты» немесе



«біріншілік» қанығу қисығы деп те аталады). Гистерезис шығынын сызықтық емес жиілікке тәуелді кедергі ретінде қарастыруға болады. Гистерезис шығыны кернеуге емес, магнит ағынына тікелей байланысты. Демек, 60 Гц жиілігі үшін орташа шығынды үйлестіру қозу уақыт аймағында дұрыс ағын-ток траекториясы жүреді дегенді білдірмейді.

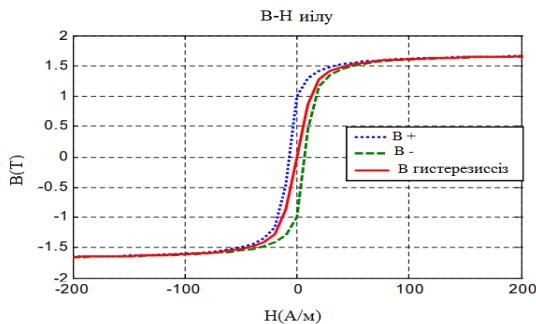


Сурет 6 –  $\lambda$ -i Гистерезис тұзағы [8]

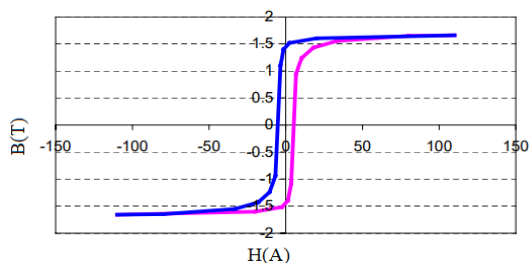
Гистерезис тұзағын бейнелеу әдістерінің бірі-екі гиперболалық функцияны қолданатын (3) теңдеу. Алынған цикл 7-суретте көрсетілген. Бірақ бұл функциялар үшін әр тұзақ үшін анықталған  $B_p$ ,  $B_{sat}$  және  $H_C$ , қажет [5–7].

$$B_+ = B_{sat} \times \frac{H + H_C}{|H + H_C| + H_C \cdot (\frac{B_{sat}}{B_r} - 1)} \quad \text{and} \quad B_- = B_{sat} \times \frac{H - H_C}{|H - H_C| + H_C \cdot (\frac{B_{sat}}{B_r} - 1)} \quad (3)$$

Мұндағы,  $B_{sat}$  – (Т) қаныққан уақыттағы индукция;  $B_r$  – (Т) қалдық магниттелуі;  $H_C$  – коэрциативті күш (А/м). ( $B_+$  және  $B_-$ -тен) гистерезиссіз қисығы  $B(\text{гистерезиссіз}) = (B_+ + B_-)/2$  анықталады.



Сурет 7 – Екі гиперболалық функцияны қолдана отырып, гистерезис тұзағының мысалдары [8]



Сурет 8 – Әдеттегі гистерезис тұзағы [8]

Орынбасу сұлбалары мен негізгі элементтердің параметрлері қарастырылды: электр беріліс желілері, трансформаторлар, жүктемелер. Электр желісі элементтерінің параметрлерін анықтауға арналған өрнектер келтірілді.

Электр желісінің тұрақты режимін есептеу әдістемесі қарастырылды. Орнықты режимдегі теңдеулердің соңғы нәтижелері көрсетілген.

Модельдеу қажет электр желілерінің негізгі элементтері:

- электр беріліс желілері (ЭБЖ);
- трансформаторлар (екі орамалы, ТК бөлінген орамасы бар екі орамалы, үш орамалы, автотрансформаторлар);
- жүктеме және генерациялау түйіндері.

Нақты элементтерді модельдеу кезінде олардың сызықтық емес элементтер екендігін ескеру қажет, бірақ бірқатар болжамдармен оларды сызықтық дифференциалдық немесе алгебралық теңдеулерді қолдана отырып математикалық сипаттауға болады, бұл электр желілеріндегі процестерді талдауды едәуір жеңілдетеді.

Бастапқы мәліметтер негізінде бір сызықты кескінде ұсынылған желінің есептеу сұлбасы жасалды. Есептеу сұлбасы зерттелетін электр желісінің барлық элементтерін қамтиды, әрбір элемент үшін оған сәйкес параметрлер көрсетіледі [9].

Есептік сұлбаны электр желісінің моделіне түрлендіріледі, бұл сәйкес параметрлері бар элементтердің орынбасу сұлбаларының жиынтығы. Бастапқы параметрлерді электр желісінің жұмыс режимінің параметрлеріне түрлендіру-режимді есептеудің негізгі мақсаты.

Электр желісінің моделінің бастапқы параметрлері:

- элементтердің номиналды параметрлері (нақты кедергілер, өткізгіштік, ұзындық, кернеу, қуат және т.б.);
- зерттелетін желінің активті және реактивті жүктемелерінің мәндері;
- бастапқы түйін ретінде қабылданатын базистік түйіннің кернеуі.

### **Қорытынды**

Бұл модельдің параметрлерін анықтау үшін параметрлерді бағалау әдістері әзірленді.

Трансформатордың негізгі жоғалту моделінің параметрлерін зауыттың негізгі сынақ деректері мен оңтайландыру әдістерін қолдану арқылы бағалауға болады. Құйынды ток шығындарын тұрақты кедергімен модельдеуге болады. Дегенмен, гистерезис жоғалуын модельдеу үшін ағымдағы айдау (инжекция) әдісін қолдану қажет, себебі ол жиілікке тәуелді.

Әрбір гистерезис тұзағы үшін оңға ығысу сызықты және солға ығысу сызықты емес, төмен ағында баяу өседі, жоғары ағында жылдамырақ, содан кейін максималды ағында нөлге дейін төмендейді деген болжам өте тиімді болып шықты, өйткені алынған қисық сызықтармен дәлелденеді.

### **Пайдаланған деректер тізімі**

1 **Агеев, В. А.** Оптимизация коэффициента трансформации регулируемого трансформатора и режима напряжения электрической сети с помощью генетического алгоритма – 2019. – С. 141–148.

2 **Агеев, В. А.** Применение метода Ньютона для расчета режима электроэнергетической системы. – 2017. – С. 347–351.

3 **Агеев, В. А.** Методика расчета нагрузки при расчете режима электроэнергетической системы // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы. – 2017. – С. 351–357.

4 **Агеев, В. А.** Методика расчета трансформатора при расчете электронного режима электроэнергетической системы. – С. 318–323.

5 **Агеев, В. А.** Сравнительный анализ методов расчета режимов электросетей. – 2018. – № 1. – С. 30–33.

6 **Анисимов, Т. С.** Регулирование напряжения в распределительных сетях с использованием теории нечеткой логики // Введение в электроэнергетику. Материалы 1-й Всероссийской молодежной научно-практической конференции. – 2014. – С. 33.

7 **Душутин, К. А.** Обзор методов расчета режимов региональной электросети. – 2019. – С. 183–188

8 **Чо, Сунг Донг,** «Оценка параметров для моделирования трансформаторов» : диссертация // Мичиганский технологический университет. – 2002. – 79 с. – <https://doi.org/10.37099/mtu.dc.etsds/60>.

9 **Куликов, А.** Переходные процессы в электроэнергетической системе х : учебник. – 2013. – 380 с.

10 **Лыкин, А. В.** Электрические системы и сети : учебник для среднего профессионального образования / А. В. Лыкин. – 2023. – 362 с.

11 **Евдокунин, Г. А.** Электрические системы и сети : учебное пособие для студентов электроэнергетических спец. вузов. – 2001. – 685 с.

12 **Железко, Ю. С.** Принципы нормирования потерь электроэнергии в электрических сетях и программное обеспечение расчетов // Электрические станции. – 2001. – № 9. – С. 33–37.

13 **Воротицкий, В. Э., Заслонов, С. В., Калинкина, М. А.** Комплекс программ для расчета балансов электроэнергии в распределительных электрических сетях // Научная конф. : Энергосистема : управление, качество, безопасность. – Екатеринбург, 2001. – С. 431–434.

## References

1 **Ageev, V. A., Ageev, V. A., Repyev, D. S., Volgushev, P. A., Burnaev, A. I., Pyatkin, D. V.** Optimizatsia koefitsienta transformatsii reguliruемого трансформатора i rejima napryajeniya elektricheskoi seti s pomosh'iu geneticheskogo algoritma [Optimization of the transformation ratio of an adjustable transformer and the voltage regime of an electrical network using a genetic algorithm]. – 2019. – P. 141–148.

2 **Ageev, V. A., Ageev, V. A., Dushutin, K. A., Volgushev, P. A., Dudin, A. V.** Primenenie metoda Niutona dlya rascheta rejima elektroenergeticheskoi sistemy [Application of Newton's method to calculate the regime of an electric power system]. – 2017. – P. 347–351.

3 **Ageev, V. A., Ageev, V. A., Dushutin, K. A., Volgushev, P. A., Rep'ev, D. S.** Metodika rascheta nagruzki pri raschete rejima elektroenergeticheskoi sistemy / Energoeffektivnye i resursosberegaiushie tehnologii i sistemy [Load calculation method for calculating the mode of an electric power system // Energy-efficient and resource-saving technologies and systems]. – 2017. – P. 351–357.

4 **Ageev, V. A., Ageev, V. A., Dushutin, K. A., Volgushev, P. A., Dudin, A. V.** Metodika rascheta трансформатора pri raschete elektronного rejima elektroenergeticheskoi sistemy [Calculation technique for a transformer in calculating the electronic mode of an electric power system]. – 2017. – P. 318–323.

5 **Ageev, V. A., Ageev, V. A., Dushutin, K. A., Dudin, A. V.** Sravnitelny analiz metodov rascheta rejimov elektrosetei [Comparative analysis of methods for calculating power grid modes]. – 2018. – P. 30–33.

6 **Anisimov, T. S.** Regulirovanie napryajeniya v raspredelitelnyh setyah s ispolzovaniem teorii nechetkoi logiki [Voltage regulation in distribution networks using the theory of fuzzy logic] // Vvedenie v elektroenergetiku. Materialy 1-i Vserossiiskoi molodejnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Introduction to the electric power industry. Materials of the 1st All-Russian Youth Scientific and Practical Conference]. – 2014. – P. 33.

7 **Dushutin, K. A.** Obzor metodov rascheta rejimov regionalnoi elektroseti [Review of methods for calculating the modes of a regional power grid]. – 2019. – P. 183–188.

8 **Cho, Sung Dong.** Ocenka parametrov dlya modelirovaniya transformatorov [Parameter Estimation for Transformer Modeling : dissertation]. – Michigan Technological University, 2002. – P. 79. – <https://doi.org/10.37099/mtu.dc.etsds/60>.

9 **Kulikov, A.** Perekhodnye prosesy v elektroenergeticheskoi sisteme [Transient processes in the electric power system]. – 2013. – P. 380.

10 **Lykin, A. V.** Elektricheskie sistemy i seti : uchebnik dlya srednego professionalnogo obrazovaniya [Electrical systems and networks : a textbook for secondary vocational education] / A. V. Lykin. – 2023. – P. 362.

11 **Evdokunin, G. A.** Elektricheskie sistemy i seti [Electrical systems and networks : Textbook for students of electrical engineering special]. – Universities, 2001. – P. 685.

12 **Zhelezko, Yu. S.** Prinsipy normirovaniya poter elektroenergii v elektricheskikh setyakh i programmnoe obespechenie raschetov // Elektricheskie stansii [Principles of regulation of electricity losses in electrical networks and software for calculations]. – 2001. – P. 33–37.

13 **Vorotnitsky, V. E., Zaslونov, S. V., Kalinkina, M. A.** Kompleks programm dlya rascheta balansov elektroenergii v raspredelitelnykh elektricheskikh setyakh // Nauchnaya konf. : Energosistema: upravlenie, kachestvo, bezopasnost [A software package for calculating the balances of electricity in distributive electrical networks // Scientific Conf. : Energy system : management, quality, safety]. – Yekaterinburg. – 2001. – P. 431–434.

Материал 20.06.23 баспаға түсті.

\*Б. Онгар<sup>1</sup>, Г. К. Смагулова<sup>2</sup>, Е. А. Сарсенбаев<sup>3</sup>,  
Е. А. Нурмадиева<sup>4</sup>, Э. Э. Сейтбек<sup>5</sup>

<sup>1,3</sup>Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатбаева, Республика Казахстан, г. Алматы;

<sup>2,4</sup>Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева, Республика Казахстан, г. Алматы;

<sup>5</sup>Академия логистики и транспорта, Республика Казахстан, г. Алматы.

Материал поступил в редакцию 20.06.23.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОСЕТИ В РАСЧЕТАХ НА СТАЦИОНАРНЫЙ РЕЖИМ**

*Данная работа является учебником для энергетиков, и в ней рассматривается небольшая часть задач управления энергосистемой, которая является лишь базой знаний по задачам управления энергосистемой. Статья посвящена современным возможностям оптимизации режимов.*

*В настоящее время ведется активная работа по созданию методического материала и методов расчета по многим вопросам оптимизации режимов. Поскольку все электрические сети являются частью четырехугольников, мы знаем, что четырехугольные электрические цепи состоят из цепей T-, P- и Г-типа. Среди них в схеме замещения рассматриваемой сети была получена схема П-типа, в связи с которой были произведены расчеты.*

*Также определяются первичные и вторичные параметры, распределенные по сети. Если в составе первичных параметров рассматривать значения удельного активного сопротивления, удельной индуктивности, удельной емкости и удельной проницаемости, то в составе вторичных параметров - волновое сопротивление и коэффициенты распределения.*

*Рассматривая гистерезисные потери как нелинейное частотно-зависимое сопротивление, мы определяем, что потери напрямую связаны с магнитным потоком, а не с напряжением. Таким образом, совершенно очевидно, что средняя координата потерь для частоты 60 Гц не означает, что во временной области возбуждения следует правильная траектория потока-тока. Получена гистерезисная ловушка для моделирования остаточных пусковых токов трансформатора.*

*Оптимизация режимов – тема, которая всегда была актуальна.*

*Ключевые слова: модернизация, изоляция, катушка, оптимизация, намагниченность, петля гистерезиса.*

\**B. Ongar*<sup>1</sup>, *G. K. Smagulova*<sup>2</sup>, *Ye. A. Sarsenbaev*<sup>3</sup>,  
*E. A. Nurmadiyeva*<sup>4</sup>, *Ye. Ye. Seitbek*<sup>5</sup>

<sup>1,3</sup>K. I. Satpayev Kazakh National Research Technical University,  
Republic of Kazakhstan, Almaty;

<sup>2,4</sup>Almaty University of Energy and Communications  
named after G. Daukeev, Republic of Kazakhstan, Almaty;

<sup>5</sup>Academy of Logistics and Transport,  
Republic of Kazakhstan, Almaty.

Material received on 20.06.23.

## **MODELING AND OPTIMIZATION OF POWER NETWORK MODES IN STATIONARY MODE CALCULATIONS**

*This work is a textbook for power engineers, and a small part of power system control problems is considered in it, which is only a basis for knowledge on power system control problems.*

*The article focuses on modern possibilities of mode optimization. At present, active work is being done on the creation of methodological material and calculation methods on many issues of mode optimization. Since all electrical networks are part of quadrilaterals, we know that quadrilateral electrical circuits consist of T, P, and G-type circuits.*

*Among them, a P-type circuit was obtained in the replacement circuit of the network under consideration, and calculations were made in connection with it. Primary and secondary parameters distributed along the network are also defined. If we consider the values of specific active resistance, specific inductance, specific capacitance and specific permeability as part of the primary parameters, we consider the wave impedance and distribution coefficients as part of the secondary parameters.*

*Considering the hysteresis loss as a non-linear frequency-dependent resistance, we determine that the loss is directly related to the magnetic flux and not to the voltage. Therefore, it is clearly relevant that the average loss coordination for a frequency of 60 Hz does not mean that the correct flux-current trajectory follows in the excitation time domain. A hysteresis trap is obtained to model the residual flux-inrush currents of the transformer.*

*Mode optimization is a topic that has always been relevant.*

*Keywords: modernization, isolation, coil, optimization, magnetization, hysteresis loop.*

Теруге 20.06.2023 ж. жіберілді. Басуға 30.06.2023 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

17,5 Мб RAM

Шартты баспа табағы 22,67. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 4103

Сдано в набор 20.06 2023 г. Подписано в печать 30.06 2023 г.

Электронное издание

17,5 Мб RAM

Усл. печ. л. 22,67. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 4103

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

8 (7182) 67-36-69

E-mail: [kereku@tou.edu.kz](mailto:kereku@tou.edu.kz)

[www.vestnik-energy.tou.edu.kz](http://www.vestnik-energy.tou.edu.kz)