

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

№ 1 (2026)

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/BGQF1934>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошекков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Шерьязов С. К.	<i>т.ғ.д., профессор (Российская Федерация)</i>
Искакова З. С.	<i>технический редактор</i>

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

***Д. Т. Сулейменова¹, Ж. К. Оржанова²,
Т. В. Мещерякова³, А. А. Боканова⁴**

¹Ғұмарбек Дәукеев атындағы АЭЖБУ,

Қазақстан Республикасы, Алматы қ.;

²«Алатау Жарық Компаниясы» АҚ,

Қазақстан Республикасы, Алматы қ.;

³Сәтбаев университеті,

Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

⁴Евразия технологиялық университеті,

Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1996-8235>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5680-6674>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1910-8487>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3462-5629>

*e-mail: duriyasuleimenova@mail.ru

ТАРАТУШЫ ЭЛЕКТР ЖЕЛІЛЕРІНДЕГІ ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСЫНЫҢ ШЫҒЫНДАРЫН ЕСЕПТЕУДЕ ЫҚТИМАЛДЫҚ-СТАТИСТИКАЛЫҚ ӘДІСТЕРІНІҢ ҚОЛДАНЫЛУЫН ТАЛДАУ

Қазақстанның энергетика секторын реформалау, электр энергиясы (ЭЭ) мен қуаттың бәсекеге қабілетті нарығын құру, реактивті қуат тұтыну мен балансын оңтайландыру шарттары контекстіндегі жаңа нормативтік құжаттарды енгізу, энергетикалық сектордың тиімділігінің өзектілігін ерекше арттырып, инвестициялау деңгейі мен тұтынушыларға минималды тарифтерді қамтамасыз етуге мүмкіндік туғызды.

Жалпы энергетикалық жүйелердің немесе жекеленген желілік компаниялардың тиімділігінің маңызды көрсеткіші – электр энергиясының шығындары. Бұл жұмыс режимінің көрсеткішінің нақты және сенімді анықталуы, электр желілерін басқаруда және пайдаланудың кешенді міндеттерін шешуде басты маңызға ие. Таратушы электр желілеріндегі электр энергиясының техникалық және коммерциялық шығындарын азайтуға арналған приоритетті

шараларын таңдау – шығындар құрылымының тәптіше есептелуі мен нақты және рұқсат етілген теңгерімсіздіктерінде негізделеді. Сонымен қатар электр режимдерінің (көп режимділік) басқару жүйелері және электр тұтыну басқару арқылы жасалған маусымдық жүктемелер туралы ақпаратқа ие болу қажет. Мақалада 2022-2024 жж. маусымдық жүктемелер графигі мен активті қуат P және ток бойынша тәуліктік электр жүктемелері келтірілген. Реактивті қуат Q , электр энергиясындағы шығындар, кернеулердің өлшеу диапазондары, қуат ағындары, электр энергиясының белгілі бір мерзімдегі өндірісі, электр энергиясының өзіндік құны және т.б. одан әрі өңдеу графиктері түрінде көрсетіліп және саралаудан өткізілген (типтік графиктер, компоненттер, математикалық модельдер). Есептеу талдауының күрделілігіне байланысты практикалық іске асыру үшін ол интеграцияланған түрде көрсетілуі қажет.

Мақала, электр тораптарындағы жүктеме деректері негізінде, ықтималдық теория мен математикалық статистикаға негізделген электр энергиясының шығындарын ықтималдық-статистикалық әдістерін қолдана отырып есептеу – өзекті мәселенің шешіміне арналған. Интегралды сипаттамаларды көп режимдікті ескере отырып электр жүктемелерінің модельдеуі негізінде анықтау – режимдерді есептеу еңбек сыйымдылығын азайтуға, реактивті қуат ағындарын оңтайландыру міндеттерін шешу кезінде сенімді нәтижелер алуға және электр тарату желілеріндегі (ЭТЖ) кернеу деңгейлерін нормаланған мәндерге сәйкес келтіруге мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: тарату желілері, электр энергиясының шығындары, электр жүктемелері, көп режимдік, ықтималдық-статистикалық әдіс, факторлық талдау, жүктемелер графиктері, кернеу деңгейлері.

Кіріспе

Қазақстан электрэнергетика саласының мемлекеттік реттеуден нарықтық жүйеге көшуі 1997 жылдары басталды, бұл желілік жұмыстардың табыстылығына көп қиырлы әсер етті. Электр энергиясы нарығындағы заманауи шарттарының оңтайлы жоспарлау мен энергетикалық секторды басқаруда өндіріс тиімділігі мен инвестициялық деңгейлерді арттыруға және тарифтерді төмендетуге бағытталған, жаңа міндеттер мен мәселелер пайда болды.

Электр энергиясының шығындарын нақты есепке алу энергетикалық жүйенің жұмыс тиімділігінің мақсатты көрсеткіштерінің бірі болып табылады. Электр энергиясының шығындарының талдауы, дұрыс және сенімді есептелуі, әртүрлі деңгейдегі электр тораптары ұйымдарының рұқсат етілген және нақты теңгерімсіздіктерін есептеу, шығындардың нормативті мәндерін талдау, электр энергиясының өңірлік тарифтерін негіздеу және белгілеу үшін қажет [1; 2].

Энерго үнемдеудің басты міндіті электро энергия шығындарын төмендету. Электро энергия шығындарын төмендету шараларын әзірлеу және ЭТА жұмыс режимдерін талдау үшін, электр тораптарының барлық мүмкін жұмыс режимдерінің (көп режимділік) негізгі параметрлерінің жоғары дәлдік пен берілген сенімділікпен электро энергия шығындарын есептеу түрлі әдістерін дамыту және жетілдіру [3].

Қазақстан тарату желілері елеулі шығындармен 18,6 % сипатталады және энергияның түрлі тарату көлемімен, тарату желілерінің кернеу класстарымен, желілердің ұзындығымен, қасалқы станса санымен, электр тораптары топологиясымен ерекшеленеді [4].

ЭТА шығындарына: электр тораптары конфигурациясы мен техникалық параметрлері, олардың жүктемелері мен жұмыс режимдері, электро энергиясының сапасы, жабдықтар жұмыс сенімділігі, жүйеаралық және желіаралық қуат пен электроэнергия ағымдары, ауа-райы жағдайы, тәулік уақыты мен жыл мезгілі, электр энергиясын жіберу, пайдалы жіберу және т.б. есептеу мен деректер жинау жүйелерінің жағдайы әсер етеді [2].

Ықтимал-статистикалық әдістерді қолдану, электр жүктемелер туралы бастапқы ақпаратты барынша жинақтауға, электр энергия шығындарының нормативтерін белгілеу бойынша міндеттерді шешуге, коммерциялық шығындардың ошақтарын табуға, ЭТА басқару экономикалық тиімділігін арттыруға және электро энергия тарифтерін негіздеуге ықпал етеді.

Материалдар мен әдістері

Электр энергия шығындарын есептеу әдісін таңдау, энерго жүйенің жұмыс режимдері, жүктемелері және ерекшеліктері бойынша бар бастапқы ақпаратпен анықталады.

Тарату желілері ашық (радиалды, магистралды, тармақты магистралды) және тұйық (шеңберлі, екі жақты қоректі, күрделі-тұйық) схемалары бойынша жүзеге асырылады және пайдаланылады.

Тұйық желілерді есептеу, режимдерін талдау, автоматикасы мен қорғауы, жұмыс режимі мен басқаруы ашық желілерге қарағанда әлдеқарай күрделі. Тұйық желілер қатты тұтынушылардың жұмыс режимдерінен және аздап басқа желілердің жүктемелерінен тәуелді. 110 кВ таратушы электр

тораптарының негізге бөлігі және 35 кВ электр желілерінің барлығы ашық схема бойынша жұмыс жасайды, тек қала электр тораптары ғана жабық түрінде орындалып ашық түрінде пайдаланып ерекшелік құрайды.

Электр энергия шығындарын есептеуде негізгі қиындық ақпараттың әртүрлі ақпаратты үлкен көлемде енгізу және өңдеумен байланысты. Тұрақты режимде шығындарды есептеу дәстүрлі түрде желінің схемалық және режимдік параметрлеріне негізделген.

Тарату желілерінің көпрежимдік және схемарежимдік жұмыс параметрлері байынша мәліметтер қосалқы станса, қуат трансформаторлары, кабельдік және ауа желілері, тұтынушылар мен жұмыс режимдері, эксперименттік немесе жабдықтардың нормативтік-анықтамалық мәні бар нормативті-анықтамалық ақпараттар туралы сапалы ақпараттық деректермен қамтамасыз етуде негізделген.

Қолданылатын математикалық аппаратқа байланысты модельдеу тапсырмаларын шешу кезінде келесі әдістер қолданылады:

- статистикалық (ықтималдық);
- детерминалдық (алгебралық);
- біріктірілген статистикалық-детерминалдық.

Электр желілерінің жүктемелерінің өзгеруі көптеген кездейсоқ оқиғалардың жүзеге асуына әкеледі. Аналитикалық функция мен кездейсоқ шаманың эксперименттік тәуелділігі арқылы электрлік жүктемелерді (ЭЖ) ықтималды сипаттау мүмкін.

ЭЖ ықтималдық қасиеттері оның өзгеру табиғатын көрсететін, математикалық статистика мен ықтималдық теорияның негізгі ережелерін қолдану арқылы сипатталады. Электр жүктемелерін ықтималдық әдістер негізінде модельдеу [5;6] жұмыстарында көрсетілген.

Статикалық модельдер электр тұтыну (ЭЭ шығындарын анықтағанда) процесстерін болжау, модельдеу кезінде қолданылады және еңбек шығынын қысқартатын, интервалдық режим есептеулерін өткізуді қажет етпейтін, өзгермейтін Якоби матрицасы бар, үш-төрт сызықтық теңдеулер жүйесін анықтау мен электр энергиясын тарату жүйесінің тұрақтанған режимінің орта жүктемелерін есептеу болып табылады.

Математикалық модельдердің сипаттамалық үлгілерін алу мүмкіндігі болмаған жағдайда детерминалды тәсіл қолданылады [7; 8; 9]. ЭЖ өзгеру сипаты тәуелділік (апталық, маусымдық) заңдылықпен, ЭЭ тұтыну режимінің цикльдылығымен, жүктемелердің күнтізбеге тәуелді табиғи өсуі немесе өзгеруімен көренеді.

6–10 кВ-тық ашық схема бойынша жасалған таратушы электр тораптарының ақпараттық қамтамасыз етілуі, бас бөліктерінің параметрларымен

(энергия откізілуі, ток жүктемелерінің максималды және минималды мәні, қосалқы стансаларының тұтынған ЭЭ) көрсетілген, ал 35–150 кВ ашық және тұйық схемаларда – орта жүктемелер, берілген орталандырғыш аралығымен автоматтандырылған ақпараттық-өлшегіш жүйесімен электр энергиясын коммерциялық тіркеу (ААӨЖ ЭКТ) арқылы тіркелген жүктемелер графигімен немесе маусымдық жүктемелер деректерімен.

ЭЭ шығындарын ықтималдық-статистикалық әдісімен есептеу электр тораптарындағы есептеу кезеңіндегі орташа қуат шығындарын есептеуде негізделген. Бұл ретте тұрақталаған кезеңдегі теңдік (ТКТ) жүйесі есептеледі. Сонымен қатар үлгі тұрақты (тәуліктік циклдық, апталық және жылдық) және тұрақсыз (сыртқы факторлардың ықпалында) сипаттағы қуаттарды – кездейсоқ өзгертуге мүмкіндік береді. Қуаттың таралу заңдылықтары есептеу кезеңінің реттелген нұсқаларының деректерін көрсетеді, ал сандық сипаттамалар жалғыз іске асыратын – есептеу аралығындағы жүктеме графигін уақыттың орташаландыруымен белгіленеді. Бір кездейсоқ шамалар жүйесін, түйіндердегі қуаттарды басқа – желілердегі түйіндер кернеуі жүйесіне айналдыру қажет, солар арқылы қуат шығындарының математикалық болжамын есептеу қажет. Шын мәнәнде желі түйіндеріндегі қуат пен кернеу таралу заңдылықтарының түрін білу тапсырманың мұндай тұжырымдауында артық, олардың тек сандық сипаты – математикалық күтілімдер мен ковариациялық сәттер ғана маңызды, яғни, негізінен жеке – сандық сипаттамаларды кездейсоқ шаманың жүйесіне айналдыру мәселесі ғана қарастырылады.

Нәтижелер және талқылау

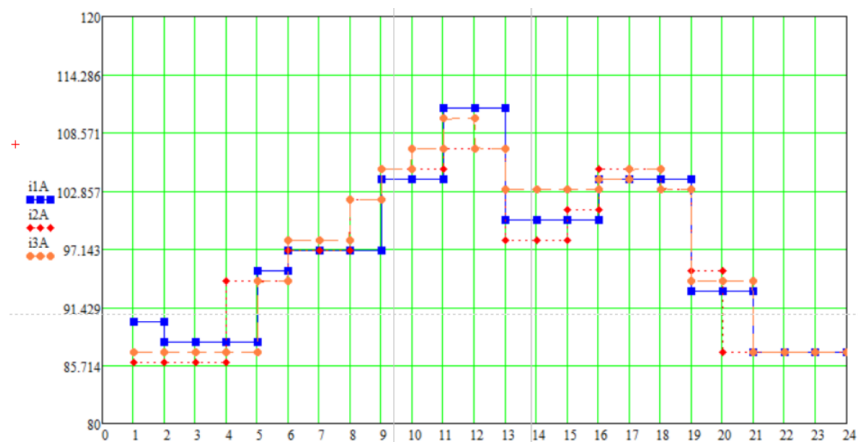
ЭЖ ықтималдық-статистикалық моделін қалыптастыру үшін бастапқы деректер ретінде жүктемелердің математикалық күтімдері (орташа мәндерін) және олардың есептік уақыт аралығындағы графигі (тәуліктік және айлық) қабылданады. Тәуліктік жүктеме графиктерінде, қыстық және жаздық тұрақтылық аралығының маусымдық минимумының өлшемдері туралы деректер бар (1 кесте).

1-кесте – 2023–2025 жылдарының 10/35/110кВ аудандық қосалқы стансасындағы жүктемелер өлшемі нәтижесі

Тәулік сағаты, сағат			Жүктеме, А			
			2023 жыл		2024 жыл	
Кернеу 10 кВ			Маусым	Желтоқсан	Маусым	Желтоқсан
2	3	2	1,0	50	28/45	1,0
7	10	7	4,0	48	17/67	4,0

12	18	12	6,2	50	24/51	6,2
21	20	21	21	52	23/51	4,8
Кернеу 35 кВ			Маусым	Желтоқсан	Маусым	Желтоқсан
2	3	2	24	24	24	24
7	10	7	28	28	28	28
12	18	12	30	30	30	30
21	20	21	30	30	30	30
Кернеу 110 кВ			Маусым	Желтоқсан	Маусым	Желтоқсан
2	3	2	70,2	70,2	70,2	70,2
7	10	7	81,4	81,4	81,4	81,4
12	18	12	72,7	72,7	72,7	72,7
21	20	21	106,5	106,5	106,5	106,5

Қапшағай ЭТА-ның 2 қосалқы стансасындағы жүктеменің 2024 жылдың желтоқсан айындағы өзгеру динамикасы 1-ші суретте көрсетілген.



1-сурет – 2024 жылдың Қапшағай ЭТА жүктеменер графигі

110–220 кВ желілеріндегі жүктеменердің айлық графигін, тіркеу жиілігін 10 секундтан тәулікке дейін өзгерту мүмкіндігі бар, ААӨЖ ЭКТ арқылы алады. Сонымен қатар қарастырылып отырған аралық үшін ЭЖ моделін құрғанда, сәйкес келетін аралықта түйіннің тұтынған энергиясы туралы деректер қолданылуы мүмкін.

Электр энергия шығындары анықталады:

$$W = M[P]T_p, \quad (1)$$

бұл жерде $M(P)$ – қуат шығындарының маататикалық күтімі немесе электр желісіндегі орташа қуат шығындары ΔP_{cp} ; T_p – уақыттың есеп кезеңі [5; 10].

ЭЭ шығындарын анықтағандағы басты қиындық, электр жүктемеледің (ЭЖ) өзгеруіне тәуелді интегралды сипаттаманың (көпрежимділік) толық тіркелуі және олардың есептеу уақыт аралығының (тәулік, ай, тоқсан) T графигі болады.

Желінің барлық m көлденең элементтерінен және n+1 түйіндерінен тұратын схемасы үшін, ЭЭ жүктемелік шығындары ΔP қуат шығындарының барлық d аралығындағы Δt стационарлық (орталандыру) қосындысымен T есептеу кезеңінің жүктемелер графигімен есептеліп, анықталады

$$\Delta W_{\Sigma}^H = 3 \sum_{j=1}^m R_j \int_0^T I_j^2(t) dt = \sum_{j=1}^m \int_0^T \Delta P_j(t) dt = \sum_{i,j}^{n+1} \quad (2)$$

мұндағы $d=T/\Delta t$ – электр жүктемелер графиктерінің тұрақтылық аралығының саны; ΔP_{ij} – электр желісінің берілген тұрақтылық аралығындағы S, i-j арақашығындағы қуат шығындары [8;9]. Тәуліктік жүктемелер графигі 2-ші кестеде көрсетілген.

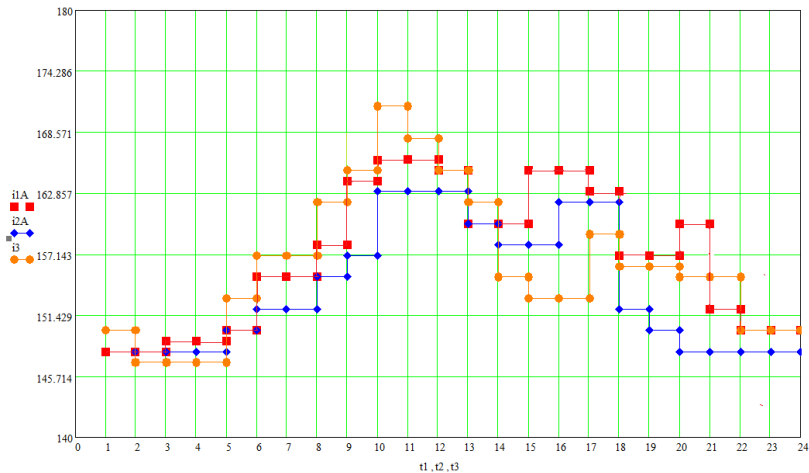
2-кесте – 2022–2024 жылдарының желтоқсан айының тәуліктік жүктемелер графигі

Тәулік сағаты, сағат	Жүктеме, А		
	2022 жыл	2023 жыл	2024 жыл
1	90 Син	87 Ф	86 К
2	89	87	86
3	89	87	86
4	89	87	86
5	89	87	94
6	94	95	94
7	98	98	99
8	97	97	99
9	97	101	101
10	104	105	105
11	104	107	105

12	110	110	107
13	110	107	107
14	100	97	97
15	100	103	97
16	100	103	102
17	104	101	105
18	104	101	105
19	93	94	95
20	93	94	87
21	87	87	87
22	87	87	87
23	87	87	87
24	83	83	87

Ұсынылып отырған тәсілдің перспективалығы аз еңбек сыйымдылығымен көрінеді, себебі негізінде ЭЭ шығындары лездік режимдердің аралық мәндерін өткізбей есептелетін.

2-ші суретте модельдеу болашағы көрсетілген.



2-сурет – Модельдеу болашағы

Ықтималдық-статистикалық әдіс электр жүктемелерінің факторлық моделінде және талдаудың модификацияланған стохастикалық моделіне негізделіп, анықталады:

$$\Delta W_{\varepsilon c} \approx \left[\Delta P(MU, M\delta) + \left(\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k(U_i U_j) \frac{\partial^2 \Delta P}{\partial U_i \partial U_j} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k(U_i \delta_j) \frac{\partial^2}{\partial U_i \partial \delta_j} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k(\delta_i \delta_j) \frac{\partial^2 \Delta P}{\partial \delta_i \partial \delta_j} \right) \right] \cdot T = [\Delta P(MU, M\delta) + \delta(\Delta P)] \cdot T = M\Delta W + \sigma\Delta W, \quad (3)$$

мұндағы $\Delta P(MU, M\delta)$, $k(\delta_i \delta_j)$, $k(U_i U_j)$ – қуат шығындарының басты құрамаласы, модуль мен кернеу фазасының MU , $M\delta$, электр жүктемелерінің математикалық күтулерінің нүктесіне сәйкес, есептеу жолымен алынған корреляция сәті;

$\frac{\partial^2 \Delta P}{\partial U_i \partial U_j}$, $\frac{\partial^2}{\partial U_i \partial \delta_j}$, $\frac{\partial^2 \Delta P}{\partial \delta_i \partial \delta_j}$ – қуат шығындарының сәйкес параметрлерінің,

сол нүктеге сай есептелген, екінші туынды өрнектері; $\delta(\Delta P)$ – активті қуат шығындарының дисперсиялық құрамдасы [9; 11; 12; 13; 14].

Кернеудің MV , $M\delta$ параметрлеріне қатысты есептелген, модуль мен фазасының, $k(V_i V_j)$, $k(V_i \delta_j)$, $k(\delta_i \delta_j)$ корреляциялық сәттері, $K = 2-3$ сызықтық теңдіктер жүйесінің шешімінен алынатын қосымша коэффициенттер арқылы, түйіндер кернеуінің линеарланған теңдіктердің жүйесіне ұқсас табылады [15; 16]:

$$[J] \begin{bmatrix} \gamma_k^* \\ \gamma_k^{**} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \vartheta_k^* \\ \vartheta_k^{**} \end{bmatrix}, k = 1, K. \quad (4)$$

Түйіндердің активті және реактивті қуаттарының сәйкес келетін математикалық күтімдерден ауытқуын ескеретін линеарланған теңдіктер жүйесінің оң бөлігінің векторлар құрамын ϑ_k^* , ϑ_k^{**} , орталықтандырылған ΔP_{ij} , ΔQ_{ij} шамалардың түйіндерге сәйкес жүктемелер мен жүктеменің

факторлық моделінің құрамаласы арқылы табады. $\vartheta_{ki}^* = \frac{1}{d} \sum_{j=1}^d G_{kj} \cdot \Delta P_{ij}$, $\vartheta_{ki}^{**} = \frac{1}{d} \sum_{j=1}^d G_{kj} \cdot \Delta Q_{ij}$, $i = 1, n$

Қорытынды

Электр жүктемелерінің тәуліктік және маусымдық графиктерін, сонымен қатар жүктемені ықтималдық-статистикалық моделдеу негізіндегі электр энергиясының шығындарын есептеу алгоритмы мен әдістемесін қолдану, реактивті қуат ағындарын оңтайландыру міндетін шешуге және таратушы электр желілерінде кернеу деңгейлерін, тәуліктік және маусымдық уақыт аралықтары үшін, практикалық мақсаттарға жеткілікті дәлдікпен нормалық мәндерге келтіруге мүмкіндік берді.

Пайдаланылған деректер тізімі

1 **Воротницкий, В. Э., Кутовой, Г. П., Овсейчук, В. А.** Снижение потерь электроэнергии. Стратегический путь повышения энергетической эффективности сетей//Новости электротехники. – 2015. – № 4(94). – 22 с.

2 **Воротницкий, В. Э., Калинкина, М. А., Садовская, А. С., Новикова, М. А., Цой, Д. А.** Об опыте расчетов, анализа и нормирования потерь электроэнергии в электрических сетях России и Казахстана// Электрические станции. – Энергопрогресс. – 2019. – №11. – 31–43 с.

3 **Воротницкий, В. Э., Пузырев, В. Е.** Программная реализация детерминированной и статистической методики расчета потерь электроэнергии и учета множества режимов электрической сети// Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2019. – № 4. – Т. 15. – 68–73 с.

4 Концепция развития электроэнергетической отрасли. <https://www.kazenergy.com>electric>project2035>.

5 **Жилина, Н. А.** Расчет нагрузочных потерь электрической энергии вероятно-статистическим методом// Научный вестник НГТУ. – 2014. – № 2. – С. 176–182.

6 **Герасименко, А. А., Нештаев, В. Б., Шульгин, И. В.** Расчет потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях на основе вероятностно-статистического моделирования электрических нагрузок// Изв.вузов. Электромеханика. – 2011. – (1). – С. 71–77.

7 **Белоусов, А. В., Быстров, А. Б., Кошлич, Ю. А.** Перспективы применения современных статистических и детерминированных методов прогнозирования в системах мониторинга энергопотребления//Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2012. – № 4. – С.192–196.

8 **Xin Kaiyuan, Yang Yuhua, Chen Fu.** An advanced algorithm based on combination of GA with BP to energy loss of distribution system [J]. Proceedings of the CSEE, 2002. – 22 (2). – С. 79–82.

9 Герасименко, А. А., Шульгин, И. В. Стохастический метод расчета нагрузочных потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях// Электрические станции. – 2013. – (4). – С. 44–59.

10 Кучумов, Л. А., Кузнецов, А. А. Энергосберегающее регулирование напряжения в узлах нагрузки. – Энергия единой сети: серия Энергосбережение. – 2018. – № 5(113)–6(114). – С. 56–60.

11 Александрова, Т. А. Использование методов искусственного интеллекта в процессах цифровизации ВУЗов и обеспечении качества образования – ТГУ, 25. – Материалы XIX МНПК. – С. 59–64.

12 Жежера, Н. И. Проектирование цифровых систем контроля и управления герметичности изделий: учебное пособие / Н.И. Жежера. – Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2009. – 438 с. – ISBN 978-5-7410-0858-4.

13 Holger Schau Analysis and Prediction of Power and Energy Losses in Distribution Networks / Holger Schau, Alexander Novitskiy // IEEE Universities Power Engineering Conference (UPEC). 2008. 43rd International 1–4 Sept. IEEE CNF, 2008. – P. 1–5.

14 Mikic, O. M. Variance-Based Energy Loss Computation in Low Voltage Distribution Networks // IEEE Transactions on Power Systems. – Vol. 22. – 2007. – № 1. – P. 179–187.

15 Жұмажанов, С.К., Әкімжанов, Т. Б., Исабеков, Ж. Б., Әмір, Е. К. Электр желісінде тарату кезінде электр энергиясының қосымша шығындары. - Павлодар: Торайғыров университетінің хабаршысы. Энергетикалық Серия. – 2023. – № 4. – Б. 23-35. – <https://doi.org/10/48081/RNHH2479>.

16 Жежера, Н. И. Математическое описание устройств и процессов как объектов систем автоматического управления: монография / Н.И. Жежера. - М.: Креативная экономика, 2012. – 200 с. – ISBN 978-5-91292-082-0.

References

1 Vorotnickij, V. E., Kutovoj, G. P., Ovsejchuk, V. A. Snizhenie poter elektroenergii. Strategicheskij put povysheniya energeticheskoy effektivnosti setej [Reduction of electricity losses. A strategic way to increase the energy efficiency of networks]//Novosti elektrotehniki. – 2015. – № 4(94) – 22 p.

2 Vorotnickij, V. E., Kalinkina, M. A., Sadovskaya, A. S., Novikova, M. A., Coj, D. A. Ob opyte raschetov, analiza i normirovaniya poter elektroenergii v elektricheskikh setyah Rossii i Kazahstana [On the experience of calculating, analyzing and rationing electricity losses in the electric networks of Russia and Kazakhstan]// Elektricheskie stancii. – Energoprogress. – 2019. – № 11 – 31-43 p.

3 **Vorotnickij, V. E., Puzyrev, V. E.** Programmная realizaciya determinirovannoj i statisticheskoj metodiki rascheta poter elektroenergii i ucheta mnozhestva rezhimov elektricheskoy seti [Software implementation of a deterministic and statistical methodology for calculating electricity losses and accounting for multiple modes of the electrical network] // Elektrotehnicheskie i informacionnye komplekсы i sistemy. – 2019. – № 4. – Vol. 15, – P. 68–73 p.

4 [The concept of development of the electric power industry] <https://www.kazenergy.com>electric>project2035>. **Koncepciya razvitiya elektroenergeticheskoy otrasli**

5 **Zhilina, N. A.** Raschet nagruzochnyh poter elektricheskoy energii veroyatno-statisticheskim metodom [Calculation of load losses of electrical energy by the probable statistical method]// Nauchnyj vestnik NGTU. 2014, №2. – P.176–182.

6 **Gerasimenko, A. A., Neshtaev, V. B., Shulgin, I. V.** Raschet poter elektroenergii v raspredelitelnyh elektricheskikh setyah na osnove veroyatnostno-statisticheskogo modelirovaniya elektricheskikh nagruzok [Calculation of electricity losses in electric distribution networks based on probabilistic and statistical modeling of electrical loads]// Izv.vuzov. Elektromehanika, 2011, (1), 71–77.

7 **Belousov, A. V., Bystrov, A. B., Koshlich, Yu. A.** Perspektivy primeneniya sovremennyh statisticheskikh i determenirovannyh metodov prognozirovaniya v sistemah monitoringa energopotrebleniya [Prospects for the application of modern statistical and deterministic forecasting methods in energy consumption monitoring systems]// Bulletin of Belgorod state technological university named after V. G. Shukhov. 2012, №4. – P.192–196.

8 **Xin Kaiyuan, Yang Yuhua, Chen Fu.** An advanced algorithm based on combination of GA with BP to energy loss of distribution system [J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22 (2), 79-82.

9 **Gerasimenko, A. A., Shulgin, I. V.** Stohasticheskij metod rascheta nagruzochnyh poter elektroenergii v raspredelitelnyh elektricheskikh setyah [Stochastic method for calculating load losses of electric power in distribution electric networks]// Elektricheskije stancii, 2013, (4), 44–59.

10 **Kuchumov, L. A., Kuznecov, A. A.** Energosberegayushee regulirovanie napryazheniya v uzlah nagruzki [Energy-saving voltage regulation in load nodes] – Energiya edinoj seti: seriya Energoberezhenie. - 2018. –№ 5(113)–6(114) – P. 56-60.

11 **Aleksandrova, T. A.** Ispolzovanie metodov iskusstvennogo intellekta v processah cifrovizacii VUZov i obespechenii kachestva obrazovaniya [The use of artificial intelligence methods in the processes of digitalization of universities and ensuring the quality of education] – TSU, 25. – materials of the XIX international scientific and practical conference. – P. 59–64.

12 **Zhezhera, N. I.** Proektirovanie cifrovyyh sistem kontrolya i upravleniya germetichnosti izdelij: uchebnoe posobie [Designing digital systems for monitoring and controlling the tightness of products: a textbook]/ N.I. Zhezhera. – Orenburg: Institute of Advanced Training of the State Educational Institution of Higher Professional Education «Orenburg State University», 2009. – 438 P. – ISBN 978-5-7410-0858-4.

13 Holger Schau Analysis and Prediction of Power and Energy Losses in Distribution Networks / Holger Schau, Alexander Novitskiy // IEEE Universities Power Engineering Conference (UPEC). 2008. 43rd International 1–4 Sept. IEEE CNF, 2008. – P. 1–5.

14 **Mikic, O. M.** Variance-Based Energy Loss Computation in Low Voltage Distribution Networks // IEEE Transactions on Power Systems. –Vol. 22. – 2007. – №. 1. – P. 179–187.

15 **Zhumazhanov, S. K., Akimzhanov, T. B., Isabekov, Zh. B., Amir, E. K.** Elektr zhelisinde taratu kezinde elektr energiyasynyn qosymsha shygyndary [Additional electricity costs when distributing in the power grid]. – Pavlodar: Bulletin of Toraigyrov University. Energetics series. – 2023. –№ 4. – P. 23–35. <https://doi.org/10/48081/RNHH2479>.

16 **Zhezhera, N. I.** Matematicheskoe opisaniye ustrojstv i processov kak obektov sistem avtomaticheskogo upravleniya: monografiya [Mathematical description of devices and processes as objects of automatic control systems: monograph]/ N.I. Zhezhera. – Moscow: Creative economy, 2012. – 200 p. – ISBN 978-5-91292-082-0.

30.10.25 ж. баспаға түсті.

14.11.25 ж. түзетулерімен түсті.

27.02.26 ж. басып шығаруға қабылданды.

*Д. Т. Сулейменова¹, Ж. К. Оржанова²,

Т. В. Мещерякова³, А. А. Боканова⁴

¹Алматынський университет энергетикası және связи имени Гумарбека Даукеева,

Республика Казахстан, г. Алматы;

²АО «Алатау Жарық Компаниясы»,

Республика Казахстан, г. Алматы;

³Сатпаев университет,

Республика Казахстан, г. Алматы;

⁴Евразийский технологический университет,

Республика Казахстан, г. Алматы.

Поступило в редакцию 30.10.25.

Поступило с исправлениями 14.11.25.

Принято в печать 27.02.26.

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ РАСЧЕТА ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Реформирование энергетической отрасли Казахстана, создание конкурентного рынка электрической энергии (ЭЭ) и мощности, введение новых нормативных документов в контексте условий потребления реактивной мощности (РМ) и оптимизации балансов РМ, вызвало особую актуальность по повышению эффективности энергетического сектора, уровню инвестирования и обеспечению минимальных потребительских тарифов.

Существенным показателем экономичности работы энергосистемы в целом и частных сетевых компаний является значение потерь ЭЭ. Точное и достоверное определение данного показателя режима работы имеет первостепенное значение при решении комплекса задач эксплуатации и управления электрическими сетями (ЭС). Основываясь на тщательных проведенных расчетах структуры потерь, фактических и допустимых небалансов электроэнергии осуществляется выбор приоритетных мероприятий по снижению технических и коммерческих потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях. При этом требуется владеть информацией сезонных нагрузок электрических режимов (многорежимностью) формируемых системами контроля и контроля электропотреблением. В статье приведены графики сезонных нагрузок 2022-2024 гг. и суточных электрических нагрузок потребителей по току и активной мощности P . Реактивная мощность Q , потери в ЭЭ, диапазоны измерения напряжений, перетоки мощности, выработка электроэнергии за определенный период, себестоимость ЭЭ и т.д. показаны в виде графиков с последующей обработкой и ранжировки (типовые графики, компоненты, математические модели). Вследствие того, что вычислительный анализ трудоемкий, необходимо ее интегрированное представление для практической реализации.

Статья посвящена актуальной проблеме – перспективности применения вероятностно-статистических методов для расчета потерь электрической энергии в распределительных сетях, базирующиеся на теории вероятности и математической статистики на основании данных нагрузок в электрических сетях. Определение интегральных характеристик с учетом фактора многорежимности на основе моделирования электрических нагрузок, позволила сократить трудоемкость расчетов режимов, получить надежные результаты при решении задач оптимизации потоков реактивной мощности (PM) и приведения уровней напряжения в соответствии с нормированными значениями в распределительных электрических сетях (РЭС).

Ключевые слова: распределительные сети, потери электроэнергии, электрические нагрузки, многорежимность, вероятностно-статистический метод, факторный анализ, графики нагрузок, уровни напряжения.

**D. T. Suleimenova¹, Zh. K. Orzhanova²,
T. V. Meshherjakova³, A. A. Bokanova⁴*

¹Almaty University of Power Engineering and
Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev,
Republic of Kazakhstan, Almaty;

²JSC «Alatau Zharyk Kompaniyasy»,
Republic of Kazakhstan, Almaty;

³Satpayev University,
Republic of Kazakhstan, Almaty;

⁴Eurasian Technological University,
Republic of Kazakhstan, Almaty.

Received 30.10.25.

Received in revised form 14.11.25.

Accepted for publication 27.02.26.

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF PROBABILISTIC STATISTICAL METHODS FOR CALCULATING ELECTRICITY LOSSES IN ELECTRICITY DISTRIBUTION NETWORKS

The reform of Kazakhstan's energy sector, the creation of a competitive electric energy (EE) and capacity market, the introduction of new regulatory documents in the context of reactive power (RP)

consumption conditions and the optimization of RP balance sheets have caused particular urgency in improving the efficiency of the energy sector, the level of investment and ensuring minimum consumer tariffs.

An essential indicator of the efficiency of the power system as a whole and of private grid companies is the value of EE losses. Accurate and reliable determination of this indicator of the operating mode is of paramount importance when solving a set of tasks for the operation and management of electrical networks (EN). Based on careful calculations of the loss structure, actual and permissible electricity imbalances, priority measures are being selected to reduce technical and commercial electricity losses in distribution electric networks. At the same time, it is required to have information about seasonal loads of electrical modes (multimode) generated by monitoring and power consumption control systems. The article presents graphs of seasonal loads in 2022-2024 and daily electrical loads of consumers in terms of current and active power R . Reactive power Q , losses in EE, voltage measurement ranges, power overflows, electricity generation over a certain period, cost of EE, etc. are shown in the form of graphs with subsequent processing and ranking (typical graphs, components, mathematical models). Due to the fact that computational analysis is time-consuming, its integrated representation is necessary for practical implementation.

The article is devoted to an urgent problem – the prospects of using probabilistic and statistical methods for calculating electrical energy losses in distribution networks based on probability theory and mathematical statistics based on load data in electrical networks. The determination of integral characteristics, taking into account the multimode factor based on modeling of electrical loads, made it possible to reduce the complexity of mode calculations, obtain reliable results when solving problems of optimizing reactive power flows (RP) and bringing voltage levels in accordance with normalized values in distribution electric networks (DEN).

Keywords: distribution networks, power losses, electrical loads, multimode, probabilistic and statistical method, factor analysis, load graphs, voltage levels.

Теруге 13.03.2026 ж. жіберілді. Басуға 31.03.2026 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

28.54 Мб RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: З. Ж. Шокубаева

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4523

Сдано в набор 13.03.2026 г. Подписано в печать 31.03.2023 г.

Электронное издание

28.54 Мб RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: З. Ж. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4523

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

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

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

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

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz