

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 (2025)

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/PXLE1275>

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 алкасы – 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>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошеков 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>
Омарова А. Р.	<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

<https://doi.org/10.48081/QFHJ4639>

***С. К. Шерьязов¹, С. Т. Тайманов², А. М. Мұхамбетжан³,
А. А. Ауесхан⁴.**

¹Оңтүстік Орал мемлекеттік аграрлық университеті
Ресей Федерациясы, Челябинск қ.;

²Қорқыт ата атындағы Қызылорда университеті,
Қазақстан Республикасы, Қызылорда қ.,

³Қызылорда ашық университеті,
Қазақстан Республикасы, Қызылорда қ.

^{1,4}Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті
Қазақстан Республикасы, Астана қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8795-5114>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5375-1180>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0799-6229>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1591-6789>

*e-mail: sakenu@yandex.ru

КҮН БАТАРЕЯЛАРЫНЫҢ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІН МОДЕЛЬДЕУ

Электр энергиясын дамыту оның тиімділігін арттыру арқылы энерго үнемдеу шараларын енгізу арқылы мүмкін болады. Энергияны үнемдеудің бір жолы – таралған генерацияны дамыту, дәстүрлі түрде қолданылатын органикалық отын түрлері мен жаңартылатын энергия көздерін негізге ала отырып. Жаңартылатын энергия органикалық отын тұтынуды азайтуға және сәйкесінше қоршаған ортаға шығын келтіруді төмендетуге ғана емес, сонымен қатар тұтынатын энергия шығындарын азайтуға бағытталған, бұл энергия үнемдеудің ерекшелігін береді. Жаңартылатын энергия көздерінің арасында күн энергиясы таралған генерацияны дамытуда басым бағыттардың бірі болып табылады. Оның қолжетімділігі мен бар болуы тұрғысынан артықшылығы кез келген электрмен жабдықтау жүйесі үшін электр энергиясын өндіруге мүмкіндік береді. Фотозлектрлік эффект күн энергетикасының дамуының негізі болып табылады. Осы ретте фотозлектрлік жүйелер, әсіресе күн батареялары, ең перспективті болып табылады. Үлкен электр энергетикасында үлкен қуатты

фотозлектрлік қондырғылар орнатылып, үлкен мөлшерде күн батареялары жинақталады. Бұл ретте күн энергиясын пайдалану бойынша инвестициялар органикалық отыннан энергия өндіру бойынша инвестициялардан асып түседі. Фотозлектрлік жүйелердің энергетикалық көрсеткіштерін анықтауда маңызды кезең – күн батареяларының жұмыс режимін модельдеу. Мақалада күн батареясының жұмыс режимін зерттеуге және оның энергетикалық сипаттамаларын өзгермелі эксплуатациялық факторлар жағдайында бағалауға мүмкіндік беретін математикалық модель ұсынылған.

Кілтті сөздер: жаңартылатын энергетика, фотозлектрлік жүйе, күн элементі, күн батареясы, энергетикалық сипаттамалары, максимал қуат, қызу температурасы.

Кіріспе

Жаңартылатын энергия көздерін (ЖЭК) қолдану энергетика дамуының басым бағыттарының бірі болып табылады. Әлемде жаңартылатын энергияны басқа пайдалы энергияға түрлендіруші сан алуан энергетикалық қондырғылар жұмыс жасайды [1, 1-6; 2, 1-6].

Әлемдегі жыл сайын енгізілетін жаңартылатын энергия негізіндегі қуат көлемі, қазба отын түрлері негізіндегі қуат көлемінен көп. Жаңартылатын энергетикадағы инвестициялар, қазба отын түрлерінен энергия өндірудегі инвестициялардан шамамен екі есе үлкен. Әлемде электр энергетикасындағы инвестициялардың 75 % жуығы жаңартылатын электр энергетикасына тиесілі және дамушы елдердің де бұл салаға елеулі инвестициялар салып жатқаны байқалады. Инвестициялар деңгейі бойынша Қытай алда келеді [3].

Электр энергетикасы бойынша жаңадан енгізілген қуаттар арасында күн электр энергетикасы озық болып табылады. Жаңадан орнатылған қуат шамамен 33 % өсті. 2024 жылдың соңына қарай бүкіл әлемде енгізілген және пайдаланудағы күн электр энергетикасы қондырғыларының қуаты шамамен 700 ГВт асады.

Материалдар мен әдістері

Күн электр стансаларын (КЭС) салу таратылған генерация дамуының перспективалы бағыты болып табылады. Бұл ретте фотозлектрлік жүйелерде (ФЭЖ) ең кең таралғаны кремний элементтерінен тұратын күн батареялары (КБ) [4, 2-6].

Күн электр энергетикасы нарығының дамуы жағдайында ФЭЖ жобалау, жасау және жұмыс режимдерін талдауға байланысты зерттеулер жүргізу қажеттілігі туындайды. Бұл ретте негізгі компонент ретінде, КБ жұмыс режимдерін зерттеу және модельдеу, ФЭЖ энергетикалық көрсеткіштерін анықтау мен таңдауда маңызды кезең болып табылады.

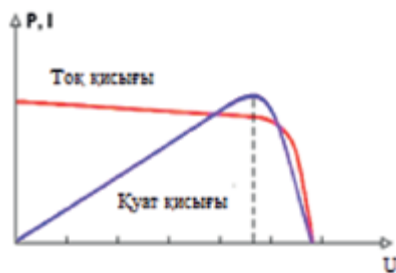
ФЭЖ жобалау кезінде КБ сыртқы сипаттамаларын (СС), вольт-амперлік және вольт-ваттық сипаттамаларын бейнелейтін, орынбасу сұлбасына негізделген адекватты моделін алу қажет. Бұл үшін КБ негізгі параметрлерін анықтау керек. КБ параметрлерінің шынайылығы оның типіне, қолданылған технологияға және күн элементтерін (КЭ) дайындау сапасына тәуелді.

КБ құжатында келтірілген техникалық деректері оның СС, әсіресе вольт-ваттық сипаттамасын тұрғызу үшін жеткіліксіз. Сонымен бірге КБ параметрлерінің мәндері, күн радиациясы мен температураның эталондық мәндері ретінде қабылданған бір ғана шамасына сәйкес келеді. Шын мәнінде, КБ пайдалану кезінде күн радиациясының шамасы мен оның температурасы кең аралықта өзгереді [5, 3–6].

Сонымен, КБ орынбасу сұлбасының параметрлерін және оның максимал қуатын анықтау үшін математикалық моделін жасау керек. Ол КБ жұмыс режимдерін және энергетикалық көрсеткіштерін өзгермелі пайдалану жағдайында бейнелеуі қажет. Бұл ретте КБ параметрлерін шынайы анықтау және оның жұмыс режимдерін модельдеу дәлдігі өзекті міндет болып табылады.

КБ математикалық модельдерін жасау және оның параметрлерін анықтау мәселесіне бірқатар ғылыми зерттеулер арналған [6]. Оларда қарапайым КЭ p және n типті екі жартылай өткізгіш пластиналарынан тұратын «бутерброд» түрінде бейнеленеді және олар күн сәулесі әсерінен электр тоғын өндіреді.

КЭ конструкциясы мен жұмыс принципі әртүрлі зерттеулерде толығымен сипатталған [7]. Ток және кернеу бойынша қажетті параметрлер алу үшін күн батареяларының өзінде кремний пластинкалары аралас сұлба бойынша жалғанады. Нәтижесінде КБ сыртқы сипаттамасы, ток пен қуаттың кернеуге тәуелділігі, 1 суретте бейнеленген түрде болады [5, 3–6].

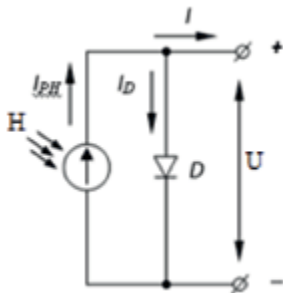


Сурет 1– КБ сыртқы сипаттамалары

Сыртқы сипаттамада максимал қуат нүктесін (МҚТ) ерекшелеуге болады. Максимал қуат нүктесіндегі кернеу мен ток күшінің мәндері КБ

параметрлеріне, жарық көзі спектрінің құрамына, сәуленің түсу бұрышына, КБ температурасына және т.б. тәуелді. Барлық аталған параметрлер, әсіресе температура уақыт бойынша үнемі өзгереді, бұл тиісінше график формасының және ондағы максимал қуат нүктесі орнының өзгеруіне алып келеді.

КЭ параметрлерін және жұмыс режимдерін зерттеу үшін эквивалентті электрлік орынбасу сұлбасы негізінде тұрғызылған математикалық модельдер қолдану кеңінен таралған. Идеал КЭ орынбасу сұлбасы 2 суретте бейнеленген.



2 – сурет Идеал күн элементінің эквивалентті орынбасу сұлбасы

Бұл модель бойынша КЭ шығысындағы токты келесі өрнек бойынша анықтауға болады

$$I = I_{PH} - I_D = I_{PH} - I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{q \cdot U}{k \cdot T}\right) - 1 \right], \quad (1)$$

мұнда – фототок; – идеал диод тоғы; – КЭ абсолюттік температурасы; – КЭ шығысындағы кернеу; – электрон заряды; – Больцман тұрақтысы; – диодтың кері қанығу тоғы.

Теңдеу құрамында белгісіз екі параметр және бар, олар өз кезегінде күн инсоляциясының шамасы мен КЭ температурасына тәуелді. Жалпы жұрт қабылдаған ұйғарымдарды қолданып, оларды келесі өрнектер бойынша анықтауға болады [7]:

$$I_{PH} = [I_{SC_STC} + k_I \cdot (T - T_{STC})] \cdot H \quad (2)$$

мұнда және – күн элементінің стандартты жағдай кезіндегі қысқа тұйықталу тоғы және температурасы; k_I – қысқа тұйықталу тоғының температуралық коэффициенті.

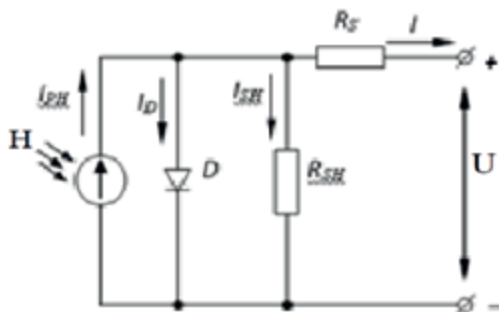
Диодтың кері қанығу тоғы:

$$I_0 = \left[\frac{I_{SC_STC}}{\exp\left(\frac{q \cdot U_{OC_STC}}{A \cdot k \cdot T_{STC}}\right) - 1} \right] \cdot \left(\frac{T}{T_{STC}} \right)^3 \cdot \exp\left[\frac{q \cdot E_G}{k \cdot A} \left(\frac{1}{T_{STC}} - \frac{1}{T} \right) \right], \quad (3)$$

мұнда E_G – жартылай өткізгіштің тыйым салынған энергетикалық аймағының ені.

Келтірілген модель көмегімен КЭ сыртқы сипаттамасын жеткілікті оңай есептеуге болады. Бірақ, оның салыстырмалы қарапайымдылығына байланысты, модельдеу дәлдігі жоғары болмайды.

Реал күн элементерінде сөзсіз энергия шығындары болады, және модельдеу дәлдігін арттыру үшін 3 суретте бейнеленген орынбасу сұлбасын қолданады.



3 – сурет Реал КЭ эквивалентті орынбасу сұлбасы

Бұл модель үшін КЭ тоғы мен кернеуі арасындағы байланысты келесі теңдеумен жазуға болады:

$$I = I_{PH} - I_D - I_{SH} = I_{PH} - I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{q(U + IR_s)}{A \cdot k \cdot T}\right) - 1 \right] - \frac{U + I \cdot R_s}{R_{SH}}, \quad (4)$$

мұнда A – диод идеалдығының коэффициенті; R_s және R_{sh} – тиісінше КЭ тізбектелген және параллель кедергілері.

Күн элементінің белгілі екі диодты немесе үш диодты басқа да орынбасу сұлбалары бар [7], олар көп белгісіз параметрлерді анықтауды қажет етеді. Орынбасу сұлбаларын талдау, КБ жұмыс режимдерін модельдеу дәлдігін арттыру үшін, модельді күрделендіру қажеттігін көрсетеді. Бұл жағдайда,

күрделілік пен модельдеу дәлдігі арасында компромистік шешім қабылдау талап етіледі.

Жұмыста реал КЭ бір диодты және екі кедергілі орынбасу сұлбасы (3-сурет) қарастырылады, ол модельдің қарапайымдығы мен дәлдігі арасындағы компромистік шешім болып табылады. Міне осыған байланысты бұл модель ұқсас зерттеулер жүргізуде кеңінен тараған [8].

КБ шығысында берілген қуатты алу үшін практикада тізбектей-параллель жалғанған көп ұқсас КЭ тізбектері қолданылады. Бұл ретте тізбектей жалғанған N_s және параллель жалғанған N_p күн элементтерінен алынатын ток шамасы келесі өрнек бойынша анықталады

$$I = N_p \cdot I_{PH} - N_p \cdot I_0 \cdot \left[\exp \left(\frac{q(U + I R_s)}{N_s \cdot A \cdot k \cdot T} \right) - 1 \right] - \frac{U + I \cdot R_s}{R_{SH}}, \quad (3)$$

мұнда I U , – КБ қысқыштарындағы ток пен кернеу; және – КБ эквивалентті кедергілері.

КБ жұмыс режимін модельдеу кезінде түсетін күн энергиясының деңгейін білу қажет. Күн сәулесі қуатымен сипатталады, оны өлшеуге болады, ал сағаттық интервалдар үшін оның ұзақтығын белгілі ықтималдықпен бағалауға болады.

Модельдеу кезінде температураның КБ энергетикалық сипаттамаларына әсерін де ескеру қажет. Сонымен бірге КБ температурасының өсуі кезінде оның өндіретін қуатының төмендеуін күту керек [9].

Сонымен, күні бойы КБ түсетін күн энергиясы мен температурасы, және де олармен байланысты энергетикалық сипаттамалары өзгермелі болады. Бұл, атап айтқанда, КБ қуатының өзгеруін оның максимал қуат нүктесінде бағалау үшін және КБ ПӘК мен жұмыс режимін дәл модельдеу үшін ескеру қажеттілігіне алып келеді.

КБ моделін жасау негізінде максимал қарапайымдылық пен пайдаланушы үшін ыңғайлылық принципі жатуы керек. Бұл ретте төлқұжаттық деректерін қолданып, КБ жұмыс режимінің шынайы моделін алу қажет. Модельдеу нәтижелерін, әртүрлі типті КБ сынау барысында алынған, тәжірибелік деректермен тексеру маңызды.

Нәтижелер және талқылау

КБ жұмыс режимін модельдеу барысында оның сыртқы сипаттамасын, бос жүріс, қысқа тұйықталу және максимал қуат нүктелеріндегі ток пен кернеуінің мәндерін алу маңызды. Бұл мәндер ФЭЖ кейбір компоненттерінің (зарядттау контроллері, ЕИМ-контроллері және т.б.) параметрлерін таңдау үшін қажет.

Берілген пайдалану жағдайында КБ сыртқы сипаттамасын алу үшін орынбасу сұлбасының параметрлерін білу керек. Оларды математикалық модель негізінде жеткілікті дәлдікпен анықтауға болады.

КБ жұмыс режимін модельдеу үшін есептеудің құрамдастырылған алгоритмі ұсынылады, және ол «Solver» қондырмасы орнатылған MS Excel электрондық кестесінде жүзеге асырылды. Компьютерлік модель негізіне жатқызылған, жасалған әдістемеді қоршаған климаттық орта жағдайының өзгеруі кезінде және мәндерін анықтау үшін келесі теңдеулер қолданылды:

$$I_{PH} = \left[\frac{R_{SH} + R_S}{R_{SH}} I_{SC_STC} + k_I \cdot (T - T_{STC}) \right] \cdot \frac{H}{H_{STC}} \quad (8)$$

$$I_0 = \frac{I_{SC_STC} + k_I \cdot (T - T_{STC})}{\exp\left(\frac{U_{OC_STC} + k_V \cdot (T - T_{STC})}{A \cdot U_T}\right) - 1} \quad (9)$$

Ұсынылған модельді тексеру үшін TCM-30A күн батареясының техникалық сипаттамасының деректері қолданылды [10]. Математикалық модельдеу нәтижесі бойынша алынған орынбасу сұлбасының параметрлері 1 кестеде келтірілген.

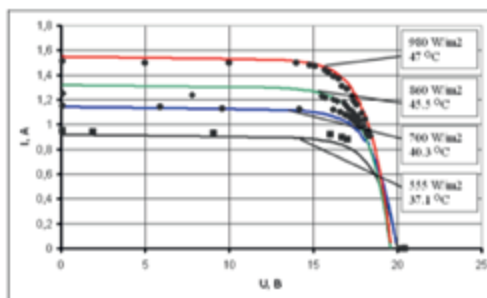
1 – Кесте TCM-30A КБ орынбасу сұлбасының есептік параметрлері

Параметр	Мәні
I_0 , А	$9.98 \cdot 10^{-8}$
I_{PH} , А	8.214
A	1.3
R_S , Ом	0.2226
R_{SH} , Ом	451.66

Реал пайдалану жағдайында модельдің КБ сыртқы сипаттамасын бейнелеу қабілеттілігін тексеру үшін күн сәулесі мен температураның өзгеруі кезіндегі сипаттамаларына есептеулер жүргізілді. TCM-30A КБ мысалында жүргізілген зерттеулер нәтижелері 4 суретте келтірілген. Суретте маркерлермен тәжірибелік деректер белгіленген, ал графиктер есептік сипаттамаларға сәйкес келеді.

Деректерді талдау, TCM-30A типті КБ жұмыс режимін модельдеу нәтижелері эксперименттік деректермен жақсы сәйкес келетінін көрсетеді.

КБ сыртқы сипаттамаларын модельдеудің салыстырмалы қателігі 5% аспайды.



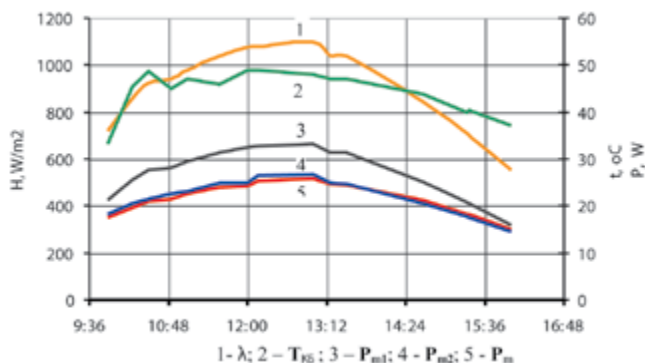
4 – сурет – TSM-30A сыртқы сипаттамасын модельдеу нәтижелері мен тәжірибелік деректер

TSM-30A деректерімен әртүрлі жарықтандыру мен температура кезінде КБ сыртқы сипаттамаларын модельдеудің абсолюттік қателіктері 0,11 А аспайды. Бұл ретте, максимал қателік бос жүріс және ішінара қысқа тұйықталуға жуық режимдерде байқалады. Бұл айырмашылық соншалықты маңызды (критикалық) емес, өйткені заманауи ФЭЖ, басқару нәтижесінде КБ максимал қуаты облысында жұмыс істейді.

Сонымен, КБ жұмыс режимін модельдеу кезінде энергетикалық сипаттамаларының жоғары дәлдігін максимал қуат нүктесі маңында қамтамасыз ету маңызды. КБ моделінің дәлдігін тексеру үшін жұмыста келтірілген деректер де қолданылды. Салыстырмалы талдау, қарастырылып отырған модель сыртқы сипаттаманы модельдеудің басқа белгілі –модельдерінің дәлдігін қамтамасыз ететінін, және дәлдігі бойынша – модельдерінен асып түсетінін, әрі екі диод негізіндегі күрделі модельдерден болмашы кемшін түсетінін көрсетеді.

Модельдің маңызды артықшылығы температураның өзгеруі кезінде КБ энергетикалық сипаттамаларын жоғары дәлдікпен модельдеуі болып табылады. Бұл, диодтың кері тоғын анықтау үшін жұмыста ұсынылған дәлірек аналитикалық өрнекті модельде қолданумен қамтамасыз етіледі.

КБ параметрлеріне, ең алдымен максимал қуатының шамасына, оның температурасының әсер ету дәрежесін зерттеу барысында, модельдің көмегімен тамыз айы бойы төлқұжаттық максимал қуаты 30 Вт поликристалды күн батареясы параметрлерінің өзгеру графиктері алынды. КБ өндіру қуаты мен ПӘК зерттеу нәтижелері 5-ші және 6-шы суреттерде бейнеленген. Сонымен бірге салыстыру үшін күн сәулесінің қуаты мен КБ қызу температурасының өзгеруі келтірілген.

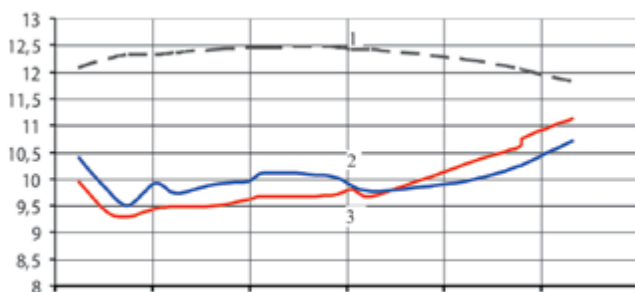


5 – сурет – Күн бойы КБ максимал қуатының, оның температурасының және күн радиациясының өзгеруі

Келтірілген деректерден, тәжірибелік жолмен және модель көмегімен алынған КБ максимал қуатының өзгеру сипаты күн сәулесі қуатының тәуліктік жүрісін қайталайтыны көрінеді. Түсте күн сәулесінің, шағылысқан сәулені қоса алғандағы, максимал қуаты мен КБ максимал температурасы күтіледі. Сонымен бірге максимал қуат өндіру байқалады және үлкен қуат шығыны күтіледі, бұл КБ ПӘК төмендетеді.

КБ қызуын ескергендегі есептік максимал қуаттың () тәжірибелік деректермен () сәйкестігі қанағаттанарлық. Ал КБ қызуын ескермегендегі есептік максимал қуат () тәжірибелік деректермен салыстырғанда көтеріңкі, әсіресе түс кезіндегі күн сәулесі қуатының үлкен мәндерінде.

КБ қызуын ескермей модельдеу нәтижесі бойынша есептелген ПӘК де көтеріңкі болып табылады, және оның шамасы күн сәулесінің қуатына тәуелсіз дерлік (6 сурет-1). Шындығында ПӘК елеулі өзгереді (6 сурет-2), және де қызуын ескермей есептелген ПӘК едеуір төмен.



6 – сурет – КБ ПЭК өзгеруі

КБ қызуын ескеріп жұмыс режимін модельдеу реал мәндеріне жуық нәтижелер береді (6 сурет-3). Тек таңғы және кешкі сағаттарда, күн сәулесі мен КБ температурасы шамаларының салыстырмалы аз кезінде, болмашы қателіктер пайда болады. Жалпы алғанда КБ температурасын ескеру есептеу қателігін 5% аспайтын шамаға дейін төмендетеді, ал қызуын ескермеу 30% астам қателіктерге алып келеді, әсіресе күн сәулесінің қуаты үлкен кезінде.

Сонымен, алынған деректер бойынша есептеулердегі қателіктерді төмендету үшін КБ қызуының оның жұмысына әсерін ескеру қажет. Келтірілген деректерді талдау, күн сәулесі деңгейінің артуымен КБ температурасының, қабылданған қатысты, өсетінін көрсетеді.

Ұсынылған модель КБ температурасын ескере отырып оның жұмыс режимін қанағаттанарлық сипаттайды. Тәжірибелік және теориялық деректер арасындағы айырма 5% аспайды.

Қорытынды

Мақалада КЭ модельдеу әдістерін жетілдіруге арналған зерттеулердің нәтижелері ұсынылған. Белгілі математикалық модельдерді салыстырмалы талдау негізінде, КЭ жұмыс режимдерін модельдеудің жеткілікті дәлдігін қамтамасыз ететін, қарапайым модель таңдалды. Ұсынылған модельді қолдану зерттеу объектісінің математикалық сипаттауын максималық шамдауға мүмкіндік береді.

КЭ орынбасу сұлбасын және математикалық моделін зерттеу барысында оның энергетикалық сипаттамаларына әсер етуші факторлар анықталды. Модельдеу нәтижелері мен тәжірибелік деректер осы факторлардың өзара байланысын дәлелдеді.

КЭ энергетикалық сипаттамаларына әсер етуші маңызды фактор, оның қызу температурасы болып табылады. Бұл ретте КЭ температурасының

өсуімен оның ПЭК және өндіру қуаты төмендейді. КЭ қызуына күн сәулесінің әсері анықталды.

Жасалған модель КЭ орынбасу сұлбасының параметрлерін анықтауға және қарастырылып отырған факторларға байланысты КЭ максимал қуатын анықтауға мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері теориялық және тәжірибелік деректердің жақсы түйісетіндігін көрсетті, ұсынылған модельдің қателігі 5 % аспайды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1 **Шерьязов, С. К., Пташкина-Гирин, О. С.** Оценка возобновляемых энергетических ресурсов для систем теплоснабжения. Международная конференция по промышленной инженерии, приложениям и производству, ICIEAM 2017. DOI: 10.1109/ICIEAM.2017.8076239.

2 **Шерьязов, С. К., Шелубаев, М. В., Обухов, С. Г.** Возобновляемые источники в системе распределенной генерации. Международная конференция по промышленной инженерии, приложениям и производству, ICIEAM 2017. DOI: 10.1109/ICIEAM.2017.8076247.

3 Отчет о глобальном состоянии возобновляемой энергетики, www.ren21.net/GSR; www.ren21.net/GFR.

4 **Обухов, С. Г., Плотников, И. А., Шерьязов, С. К.** Методы эффективного использования солнечных энергетических систем. Международная конференция по промышленной инженерии, приложениям и производству, ICIEAM 2016. DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7911015.

5 **Шерьязов, С. К., Чигак, А. С., Тайманов, С. Т.** Исследование энергетических характеристик солнечных батарей. Международная конференция по промышленной инженерии, приложениям и производству, ICIEAM 2020. Издатель: IEEE – 2020. DOI: 10.1109/ICIEAM.2019.8743093.

6 **Жахрани, А. К. и др.** Улучшенная математическая модель для вычисления выходной мощности солнечных фотоэлектрических модулей [International Journal of Photoenergy] том 2014, стр. 1-9.

7 **Ханна, В., Дас Бишт, Б. К., Ванданак, Д., Сингх, Р.К.** Модель с тремя диодами для промышленных солнечных элементов и оценка параметров солнечных элементов с использованием алгоритма PSO [Renewable Energy] том 78, 1 июня 2015 года, стр. 105–113.

8 **Киулла, Г, Ло Брано, В, Ди Дио, В, Киприани, Г.** Сравнение различных моделей с одним диодом для представления характеристики I–V солнечной ячейки [Renewable and Sustainable Energy Reviews] том 32 (2014), стр. 684–696.

9 **Шерьязов, С. К., Чигак, А. С.** Особенности в режиме работы солнечных батарей в системе автономного электроснабжения». Материалы ЛИ Международной научно-технической конференции «Достижения науки – агропромышленному производству. Челябинск: ЧГАА, 2012. – Ч. V. стр. 142-147.

10 Solar modules [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.telstv.ru/?page=ru_solar_modules/

REFERENCES

1 **Sheriazov, S. K., Ptashkina-Girina, O. S.** Vozobnovlyaemy`x e`nergeticheskix resursov dlya sistem teplosnabzheniya. Mezhdunarodnaya konferenciya po promy`shlennoj inzhenerii, prilozheyam I proizvodstvu [Estimation of Renewable Energy Resourtses for Heat Supply Systems. International Conferentse on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing] ITsIEAM 2017. DOI: 10.1109/Its-IEAM.2017.8076239.

2 **Sheriazov, S. K., Shelubaev, M. V., Obukhov, S. G.** Vozobnov-lyaemy`e istochniki v sisteme raspredelennoj generacii. Mezhdunarodnaya konferenciya po promy`shlennoj inzhenerii, prilozheniyam i proizvodstvu [Renewable Sourtses in System Distributed Generation. International Conferentse on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing] ITsIEAM 2017. DOI: 10.1109/ITsIEAM.2017.8076247.

3 Otchet o globalnom sostoianii vozobnovliaemoi energetiki [Report on the Global State of Renewable Energy] www.ren21.net/GSR; www.ren21.net/GFR

4 **Obukhov, S. G., Plotnikov, I. A., Sheriazov, S. K.** Metody` e`ffektivnogo ispol`zovaniya solnechny`x e`nergeticheskix sistem. Mezhdunarodnaya konferenciya po promy`shlennoj inzhenerii, prilozheniyam i proizvodstvu [Methods of effective use of solar power system. International Conferentse on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing] ITsIEAM 2016. DOI: 10.1109/ITsIEAM.2016. 7911015.

5 **Sheriazov, S. K., Chigak, A., Taimanov, S. T.** Issledovanie e`nergeticheskix karakteristik solnechny`x batarej. Mezhdunarodnaya konferenciya po promy`shlennoj inzhenerii, prilozheniyam i proizvodstvu [2020 Research of energy characteristics of solar batteries. International Conferentse on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing] (ITsIEAM). Publisher: IEEE – 2020. DOI: 10.1109/ItsIEAM. 2019.8743093

6 **Iakhrani, A. Q. and et al.** Uluchshennaya matematicheskaya model` dlya vy`chisleniya vy`xodnoj moshhnosti solnechny`x fotoe`lektricheskix modulei [An Improved Mathematical Model for Computing Power Output of Solar Photovoltaic Modules // International Journal of Photoenergy] Volume 2014, P.1–9.

7 **Khanna, V. Das, B.K., Bisht, D., Vandanac, Singh, P.K.** Model's tremya diodami dlya promy'shlenny'x solnechny'x e'lementov i ocenka parametrov solnechny'x e'lementov s ispol'zovaniem algoritma PSO [A three diode model for industrial solar tsells and estimation of solar tsell parameters using PSO algorithm // Renewable Energy] Volume 78, Iune 01, 2015, P. 105–113.

8 **Tsiulla, G., Lo Brano, V., Di Dio, V., Tsipriani, G. A** Svravnenie razlichny'x modelej s odnim diodom dlya predstavleniya xarakteristiki I–V solnechnoj yachejki [Comparison of different one-diode models for the representation of I–V characteristic of a PV tsell] Renewable and Sustainable Energy Reviews 32 (2014) P. 684–696.

9 **Sheriazov, S.K., Chigak, A.S.** Osobennosti v rezhime raboty solnechnykh batarei v sisteme avtonomnogo elektrosnabzheniia». Materialy LI Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnikeskoi konferentsii «Dostizheniya nauki - agropromyshlennomu proizvodstvu [Features of Solar Battery Operation in an Off-Grid Power Supply System.» Materials of the International Scientific and Technical Conference «Scientific Achievements in Agricultural Production] Cheliabinsk : ChGAA, 2012. – Ch. V. P. 142–147.

10 Solar modules. [Electronic resource] http://www.telstv.ru/page=ru_solar_modules

13.02.25 ж. баспаға түсті.

14.02.25 ж. түзетулерімен түсті.

10.03.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

*С. К. Шерьязов¹, С. Т. Тайманов², А. М. Мухамбетжан³, А. А. Ауесхан⁴

¹Южно-Уральский государственный Аграрный университет,

Российская Федерация, г. Челябинск;

²Кызылординский университет имени Коркыт ата,

Республика Казахстан, г. Кызылорда.;

³Кызылординский открытый университет,

Республика Казахстан, г. Кызылорда;

^{1,4}Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева,

Республика Казахстан, г. Астана.

Поступило в редакцию 13.02.25

Поступило с исправлениями 14.02.25

Принято в печать 10.03.25

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

Развитие электроэнергетики возможно путем повышения ее эффективности за счет внедрения энергосберегающих мероприятий. Одним из путей энергосбережения является развитие распределенной генерации, на основе традиционно используемых органических видов топлива и возобновляемых источников. Возобновляемая энергия призвана не только уменьшать потребление органического топлива и соответственно выбросы в окружающую среду, но и для снижения затрат на потребляемую энергию, что придает особенность в энергосбережении. В числе возобновляемых источников солнечная энергетика является одним из приоритетных направлений развития распределенной генерации. Ее преимущество по признаку доступности и наличию позволяет генерировать электроэнергию для любой системы электроснабжения. Фотоэлектрический эффект становится основой развития солнечной электроэнергетики. При этом фотоэлектрические системы на основе солнечных батарей являются наиболее перспективными. В большой электроэнергетике устанавливаются фотоэлектрические установки большой мощности с набором огромного количества солнечных батарей. При этом инвестиции в использование солнечной энергии превышают инвестиции в производство энергии из органических видов топлива. Важным этапом при определении энергетических показателей фотоэлектрических систем является моделирование рабочего режима солнечных батарей. В статье предложена математическая

модель, которая позволяет исследовать рабочий режим солнечной батареи и оценивать её энергетические характеристики в условиях изменяющихся эксплуатационных факторов.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, фотоэлектрическая система, солнечный элемент, солнечная батарея, энергетические характеристики, максимальная мощность, температура нагрева.

*S. K. Sheryazov¹, A. S. Taimanov², A.M. Mukhambetzhn³, A. A. Auyeskhan⁴

¹South Ural State University, The Russian Federation, Chelyabinsk;

²Korkyt ata Kyzylorda University, Republik of Kazakhstan, Kyzylorda;

³Open university of Kyzylorda, Republik of Kazakhstan, Kyzylorda;

⁴L. N. Gumilyov Eurasian National University,

Republik of Kazakhstan, Astana.

Received 13.02.25

Received in revised form 14.02.25

Accepted for publication 10.03.25

MODELING OF ENERGY PERFORMANCE OF SOLAR PANELS

The development of the electric power industry is possible through improving its efficiency by implementing energy-saving measures. One of the ways to save energy is the development of distributed generation based on traditionally used organic fuels and renewable sources. Renewable energy is intended not only to reduce the consumption of organic fuels and, consequently, emissions into the environment but also to lower the costs of consumed energy, which gives a special focus on energy saving. Among renewable sources, solar energy is one of the priority directions for the development of distributed generation. Its advantages in terms of availability and presence allow for electricity generation for any power supply system. The photovoltaic effect becomes the foundation for the development of solar power. In this regard, photovoltaic systems based on solar panels are the most promising. In large-scale power generation, large-capacity photovoltaic installations with a vast number of solar panels are being installed. At the same time, investments in the use of solar energy exceed investments in energy production from organic fuels. An important step in determining the energy performance of photovoltaic systems is modeling the operating mode of solar panels. The article proposes a mathematical model that allows for the investigation of the operating mode

of a solar panel and the evaluation of its energy characteristics under changing operational factors.

Keywords: renewable energy, photovoltaic system, solar cell, solar panel, energy characteristics, maximum power, heating temperature.

Keywords: renewable energy, photovoltaic system, solar cell, solar panel, energy performance, maximum power, temperature rise.

Теруге 10.03.2025 ж. жіберілді. Басуға 28.03.2025 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Mb RAM

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

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс №4358

Сдано в набор 10.03.2025 г. Подписано в печать 28.03.2025 г.

Электронное издание

29.9 Mb RAM

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

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4358

«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