

Күн панельдерінің қызуы кезінде сәулеленудің түрлену тиімділігіне әсерін зерттеу

¹***СЫДЫКОВА Гульнар Кудайбергеновна**, т.ф.к., қауымдастырылған профессор, sydykova77@mail.ru,

¹**УРАЗБАЕВ Нұрлан Жеткергенович**, э.ф.к., департамент директоры, nurdon@korkyt.kz,

¹**ҚҰЛТАН Исламбек Берікұлы**, магистр, инженер, islambek.kultan@mail.ru,

¹**ЖҮНІСОВ Жандос Торғайбайұлы**, магистрант, jandos.junusov@gmail.com,

¹**ЖАНСЕРІКҚЫЗЫ Ақнұр**, магистр, оқытушы, zhanserikkyzy@mail.ru,

¹«Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті» КеАҚ, Әйтеке би көшесі, 29а, Қызылорда, Қазақстан,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Қызылорда облысы аумағының ыстық климаты жағдайында күн энергиясын пайдалану тиімділігінің өзгеруі зерттеледі. Мақаланың мақсаты – Қызылорда облысының климаттық жағдайында күн радиациясының әсер ету температурасы мен қарқындылығының өзгеруі бойынша күн панельдерінің тиімділігін талдау. Зерттелетін күн панельдерінің температурасы мен оған түсетін жарық деңгейі шығыстық қуатқа айтарлықтай әсер ететіні белгілі. Зерттеу Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті «Электр энергетикасы, техносфералық қауіпсіздік және экология» кафедрасына қарасты «Жаңартылатын энергия негізінде энергия үнемдеу» зертханасында жүзеге асырылды. Қуаты 2,2 кВт күн панельдерінің нақты жұмыс режимі кезіндегі деректер алынды. Күн панельдерінің қызуы кезінде сәулеленудің тиімділігінің өзгеруі теориялық түрде есептеліп, оны нақты деректер базасынан алынған параметрлермен салыстырылды. Панельдердің қызуы тепловизормен анықталды. Ауа райы температурасы зертханада орналасқан метеостанциядан алынды.

Кілт сөздер: күн радиациясы, күн панелі, күн энергиясы, жаңартылатын энергия, фотоэлектрлік станция, температуралық әсер, түрлендірудің тиімділігі.

Кіріспе

Күн энергиясы энергетикалық сектордағы әмбебап құрал болып табылады. Өйткені, күн энергиясын электрлік, жылулық, механикалық түрлендіруге болады. Күн энергиясын электр энергиясына екі негізгі жолмен түрлендіруге болады: термодинамикалық және фотоэлектрлік. Күн энергиясын электр энергиясына түрлендіру үшін оптикалық рефлекторлар мен күн энергиясын қабылдағышты пайдалана отырып, күн сәулесін түсіруге арналған арнайы қондырғылар қолданылады. Күн панельдерінің ең көп таралған және танымал түрі-монокристалды кремнийден жасалған күн панельдері [1].

Энергияға деген сұраныс азаматтық және өнеркәсіптік секторларда қазба отындарын шамадан тыс пайдалану арқылы тез өсуде. Қазба отындарды осылайша молынан пайдалану ауаның ластануына және соның салдарынан жаһандық жылынуға әкеледі. Жаңартылатын энергияны қолдану технологиялары экологиялық таза болып саналады,

өйткені олар дәстүрлі энергияға қарағанда қоршаған ортаға аз әсер етеді [2]. Қазіргі уақытта PV-күн технологиясын жобалау үшін әртүрлі қолданбалы бағдарламалар әзірленуде, олардың негізгі міндеті фотоэлектрлік станциялардың физикалық-математикалық үлгілерін жасау болып табылады [3].

Ғылыми зерттеулерге сүйенсек, күн модульдері жазда ашық аспанмен және қарқынды күн радиациясымен жұмыс істегенде, олар күндіз міндетті түрде қызады. Бұл температуралық әсер тек жарықты түрлендірудің тиімділігіне әсер етіп қана қоймайды, сонымен қатар модульдің жеделдетілген деградациясына әкелуі мүмкін, бұл соңында нашар өнімділікке әкеледі.

Қазіргі уақытта күн энергиясының үлесі артып келеді және осы салада күн батареяларының сапасын, тұрақтылығын және сипаттамаларын жақсарту тұрғысында белсенді әзірлемелер жүргізілуде. Температура күн батареяларының шығыстық сипаттамаларының тұрақтылығына әсер ететін маңызды

фактор болып табылады [4]. Күн модульдері жұмыс істейтін температура олардың тиімділігін анықтайтын негізгі факторлардың бірі болып табылады. Күн батареяларының тиімділігі шектеулі, яғни бұл олардың барлық алынған энергияны электр энергиясына айналдыра алмайтындығын білдіреді, қалған энергия жылуға айналады. Температураның жоғарылауы жартылай өткізгіштің жолақ енінің азаюына әкеледі. Яғни, температураның жоғарылауымен аймақтың ені азаяды және қанықтыру тогы электронды тесік жұптарын құруға қажетті энергияның аздығына байланысты артады. Бұл жағдайда қысқа тұйықталу тогы аздап артады, ал бос жүріс кернеуі азаяды және қол жетімді максималды қуат айтарлықтай төмендейді.

Материалдар мен әдістер

Монокристалды күн батареяларының орташа тиімділігі 22%-ды құрайды. Оларды өндіру үшін жұқа пластинкаларға кесілген ультра таза кремний таяқшалары қолданылады. Поликристалды күн батареяларының орташа тиімділігі 17% [5]. Технологияны дамыту материалдардың, сондай-ақ өндірістік процестер мен экономикалық факторлардың құнын төмендету және сапасын жақсарту арқылы мүмкін болады. Арзан қосалқы қабатқа (әйнек, металл, полимерлі пленка) тұндырылған қалыңдығы 1-ден 4 мкм-ге дейінгі қабаттар қатарынан тұратын жұқа қабықшалар негізіндегі жасушалар күн радиациясының бірдей мөлшерін сіңіру үшін әлдеқайда аз жартылай өткізгіш материалды дайындауды қажет етеді [6]. Жұқа қабықшалы күн батареяларының алуан түрлілігі аморфты кремний α -Si-ден жасалған. Аморфты кремний негізіндегі күн батареясының тиімділігі орта есеппен 16% құрайды. Микрокристалды кремнийі бар аморфты кремний α -Si/ μ c-Si микрокристалды кремнийдің қосымша қабаттары бекітілген аморфты кремнийден тұрады. Микрокристалды кремний қабатының артықшылығы қызыл және инфрақызыл спектрлерден сәулеленуді көбірек сіңіретіндігінде, сол арқылы элементтің ПӘК-ін орта есеппен 20%-ға дейін арттырады [7]. Радиацияны пайдалана отырып, күн модулі қоршаған ортаға жылу шығарады [8]. Күн модулінің жұмыс температурасы – модульде өндірілетін жылу мен қоршаған ортаға кететін жылудың тепе-теңдігі нәтижесі. Жылудың бөлінуіне әкелетін үш негізгі фактор бар: жылу өткізгіштік, конвекция және сәулелену. Жылу өткізгіштік күн батареясы және басқа денелер мен орталар, соның ішінде модульді қоршап тұрған ауа температура айырмашылығынан туындайды [9].

Күн панелінің беткі температурасының қоршаған орта температурасына тәуелділігі [10] келесі формуламен анықталады

$$T_{pi} = T_{aya} + \frac{E_i}{800} (T_{n.exc} - 20^\circ C), \quad (1)$$

мұндағы T_{pi} – күн панелінің бетінің температурасы, градус $^\circ C$,

E_i – күн радиациясының келуі, Вт/м²,

T_{aya} – жобалық нүктедегі қоршаған орта температурасы, градус $^\circ C$,

$T_{n.exc}$ – күн панелінің қалыпты жұмыс температурасы, $^\circ C$.

Күн панелінің беткі қабатының қаншалықты қызғаның (1) формула бойынша анықтадық. 19.06.2024 жыл ауа-райының температурасы зертханада орналасқан метеостанциядан алынды (1-сурет).

1-кестеде күн панелінің есептік бетінің температурасы көрсетілген. Күн панелінің тиімділігі (2) формулаға сәйкес анықталады:

$$\eta_{pi} = \eta \cdot ((1 - 0,0045(T_{pi} - 25))), \quad (2)$$

мұндағы η_{pi} – күн панелінің тиімділігі, %,

η_0 – 25 $^\circ C$ температурадағы күн панелінің тиімділігі, %,

T_{pi} – күн панелі бетінің температурасы, $^\circ C$.

2-кестеге сәйкес күн батареясының беткі температурасының есептік мәні бойынша алынған $\Delta\eta$ пайдалы әсер коэффициенті минималды 3,5% (32 $^\circ C$) және максималды 7,2% (41 $^\circ C$) төмендеген.

Нәтижелер мен талқылау

19.06.2024 жылы «Жаңартылатын энергия негізінде энергия үнемдеу» зертханасында күн панельдерінің тиімділігін анықтау бойынша нақты практикалық зерттеу жұмыстары жүргізілді. Қуаты 10 кВт, кернеуі 380 В желілік, қуаты 3 кВт, 5 кВт кернеуі 220 В болатын гибриді инверторлармен және вакуумдық түтікшелі күн коллекторларымен жабдықталған күн электр станциясы 2-суретте көрсетілген. Автономды жұмыс режимін зерттеу үшін 12 В, 100 А*сағ – 12 дана аккумулятор қарастырылған. Ауа-райының барлық параметрлерін бақылауға арналған метеостанция орнатылған.

5 кВт инвертордың кіріс қуатын 275 Вт x 8 дана монокристалды күн панелі және 3 кВт жел генераторы құрайды. Бұл инвертордың шығыстық қуаты яғни, тұтынушысы осы зертхананың басқару пункті болып табылады. 3-кестеде инвертордың деректер базасынан алынған мәліметтер және тепловизор алынған температуралық параметрлері 3-суретте келтірілген.

3-кестедегі деректерді талдай келе күн панельдерінің толық қуатта жұмыс жасамайтынын көруге болады. Ең төменгі 2,3% кешкі 18:00, ал ең жоғары 48% 13:00-де болған. Пайдалы әсер коэффициентінің бұлай өзгеруінің бірнеше себептері бар:



1-сурет – Метеостанциядан алынған күн радиациясының қарқындылығы

1-кесте – (1) формуланы пайдаланып күн панелінің бетінің температурасын анықтаймыз

Сағат	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$T_{pi}, °C$	32,7	35,4	38,1	39,0	39,9	40,9	41,0	40,3	39,8	37,3
$T_{ayaz}, °C$	29,6	31,4	33,4	33,7	34,4	35,4	35,9	35,8	36,1	35,7
$E_i, Вт/м^2$	501	643	747	846	885	875	818	715	587	250
$T_{n.еск}, °C$	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25

2-кесте – Күн батареясының бетіндегі температураның есептеу арқылы анықталған мәні негізінде күн панелінің тиімділігінің өзгеруі

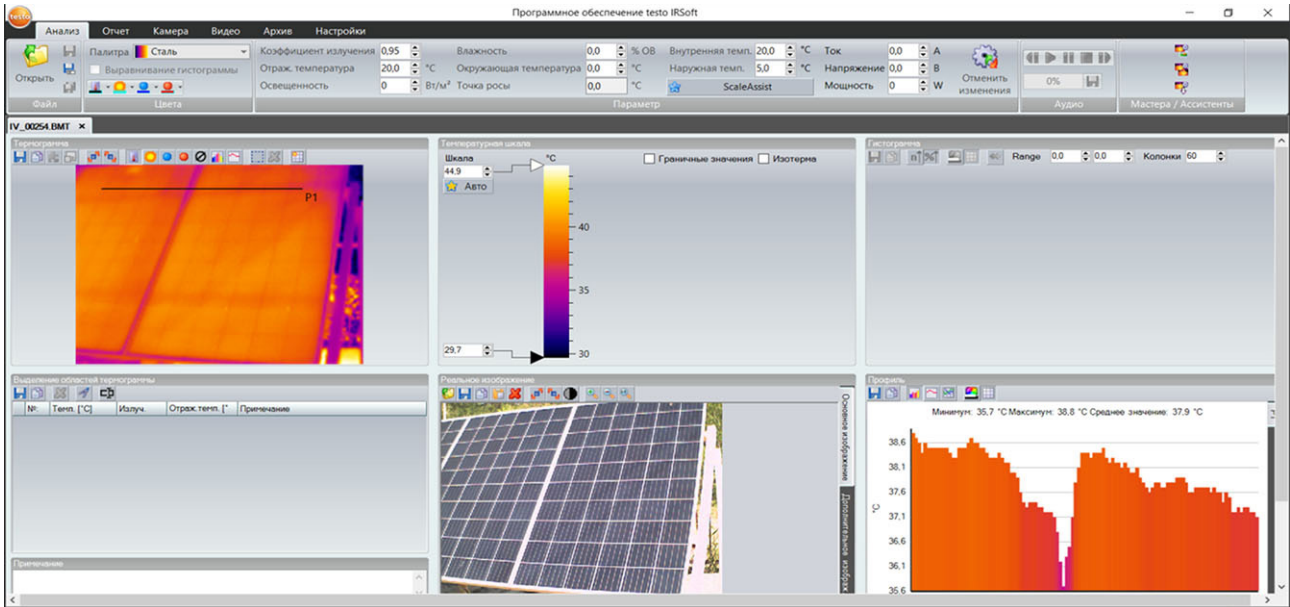
Сағат	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$\eta_{pi}, \%$	17,4	17,2	16,9	16,9	16,8	16,7	16,7	16,8	16,8	17,0
$\eta_0, \%$	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
$\Delta\eta, \%$	3,5	4,7	5,9	6,3	6,7	7,1	7,2	6,9	6,6	5,5
$T_{pi}, °C$	32,7	35,4	38,1	39,0	39,9	40,8	41	40,2	39,7	37,2



2-сурет – Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті «Жаңартылатын энергия негізінде энергия үнемдеу» зертханасы

- көлденең жазықтық пен күн панелінің арасындағы бұрыш 45°;
- конструкциялық құрылымы мықты және

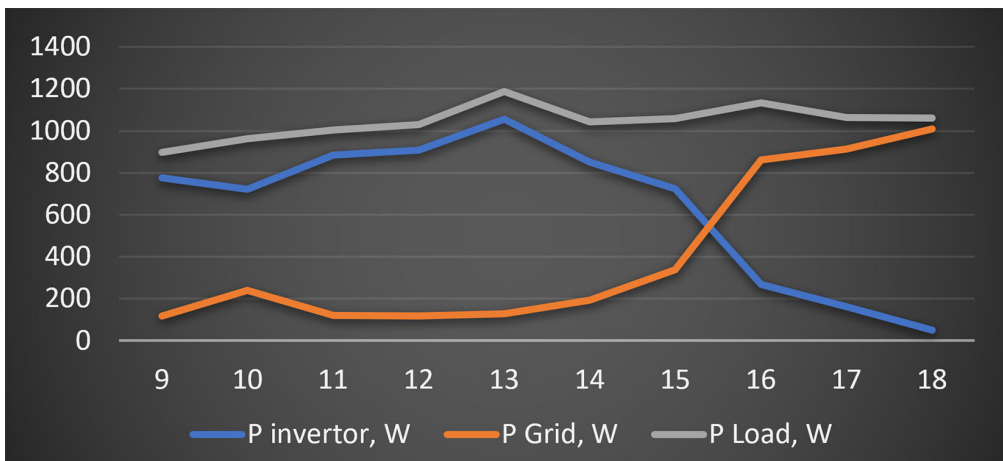
- тұрақты;
- климаттық жағдай ыстық – құрғақ, 4-сурет бойынша 9:00-15:00 аралығын-



3-сурет – Күн панелінің тепловизордан алынған температуралық параметрлері

3-кесте – Инвертордың деректер базасынан алынған мәліметтер және есептелген нақты пайдалы әсер коэффициенттері

Сағат	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
P inverter, W	776	721	885	909	1056	852	723	268	163	51
P Grid, W	-117	-239	-120	-118	-129	-192	-338	-862	-914	-1010
P Load, W	898	962	1005	1029	1188	1042	1059	1134	1064	1062
PV voltage, B	45,1	44,5	44,7	49,5	48,5	55,5	44,4	44,3	44,2	44,1
Battery voltage, B	44,7	44,2	44,3	49,2	48,1	44,2	44	44,1	44	43,9
η, %	35,3	32,8	40,2	41,3	48,0	38,7	32,9	12,2	7,4	2,3



4-сурет – Жыл инвертордың деректер базасынан алынған деректердің графикалық кескіні (19.06.2024ж.)

да күн энергиясынан өндірілген энергия шамасы жоғары, ал 16:00-18:00 аралығында азайғандығы байқалады. Себебі, бұл уақыт аралығында көлеңке көлемі көбейеді және күн сәулесінің түсу бұрышы айтарлықтай өзгереді.

4-кестеден екі түрлі әдістің нәтижелерінің бір-бірімен сәйкес келмейтінін көреміз. Есептелген және өлшенген мәндердің қанша пайызға артық немесе кем (қызғылт сары берілген сан ΔT) екенін көруге болады.

Қорытынды

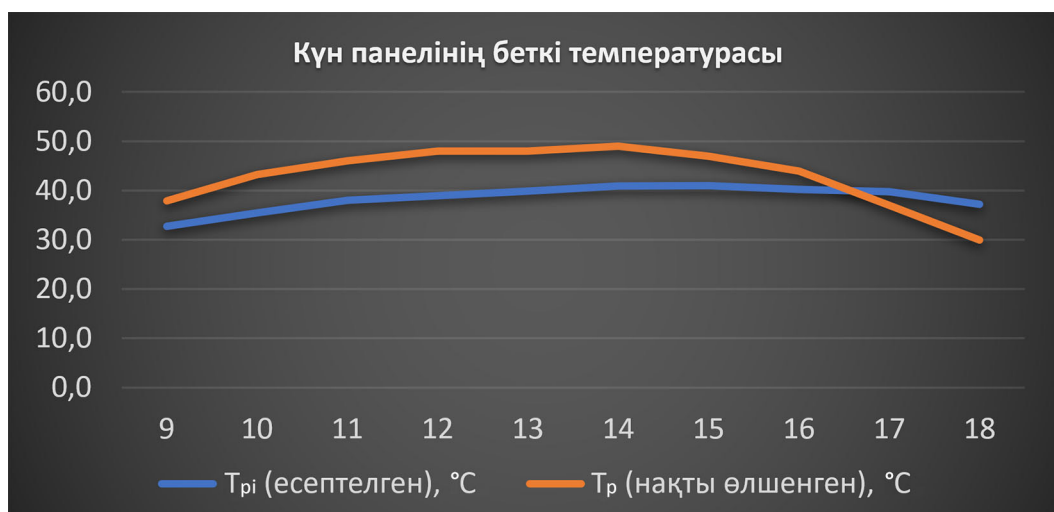
Зерттеу нәтижелері көрсеткендей күн панелінің беткі температурасын теориялық

және нақты практикалық өлшеу арқылы анықтау кезінде екі әдістің сәйкестігі бір-бірінен 7,5-24,2% аралығында ауытқитынын көрсетеді. Сәйкесінше, теориялық және нақты деректер базасы ақылы алынған параметрлерді пайдаланып анықталған ПӘК-і ауытқуы жоғары болады. Дәл теориялық – бұл ауа райының температурасына Тауа байланысты күн панелінің қызуы кезінде энергия тиімділігі қанша пайызға төмендейтінін көрсетеді. Дәл нақты практикалық – күн панелінің нақты өндірген энергиясының көрсеткіші негізінде алынған энергия тиімділігінің төмендеуі 5-кестеде келтірілген.

5-кестеде ауа температурасы 34,4°C бол-

4-кесте – Күн панелінің теориялық және нақты өлшеуіш құрылғысынан алынған нәтижелері

Сағат	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
T_{pi} (есептелген), °C	32,7	35,4	38,1	39,0	39,9	40,9	41,0	40,3	39,8	37,3
T_p (нақты өлшенген), °C	37,9	43,3	46	48	48	49	47	44	37	30
ΔT , % көрсеткіші	13,6	18,2	17,2	18,8	16,8	16,6	12,7	8,5	7,5	24,2



5-сурет – Күн панелінің теориялық және нақты өлшеуіш құрылғысынан алынған нәтижелердің графикалық кескіні

5-кесте – Күн панелінің қызуы кезінде сәулеленудің түрлену тиімділігіне әсері

Сағат	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$T_{ауа}$, °C	29,6	31,4	33,4	33,7	34,4	35,4	35,9	35,8	36,1	35,7
E_i , Вт/м ²	501	643	747	846	885	875	818	715	587	250
Дәл теориялық, %	3,5	4,7	5,9	6,3	6,7	7,1	7,2	6,9	6,6	5,5
Дәл нақты практикалық, %	64,7	67,2	59,8	58,7	52,0	61,3	67,1	87,8	92,6	97,7

ғанда теориялық және нақты практикалық ПЭК-і 6,7 және 52,0%, ал 35,9°C болғанда сәйкесінше 7,2 және 67,1% болған. Күн панелінің беткі температурасы артқан сайын энергия тиімділігі төмендейтінің теориялық және практикалық әдістерде байқауға болады, бірақ екі әдістің бір-бірінен ауытқуы болды. Оны бірнеше факторға байланысты айқындауға болады.

Демек, күн панельдерінің қызуы кезіндегі сәулеленудің түрлену тиімділігіне әсерін ұлғайту үшін панельдердің беттік қабатының температурасын төмендету бойынша іс-шаралар қажеттігі туындайды.

Бұл мақала жоспарлы – нысаналы қаржыландыру жобасы (BR21882415) негізінде әзірленді.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Құлтан И.Б., Жансерікқызы А., Іскендір Р.С. Күн электр станциясының жабдықтарын таңдау және жүктемесін есептеу. «Энергия және ресурстар үнемдеу технологиялары: тәжірибелер және келешегі» IV Халықаралық ғылыми-тәжірибелік online конференция материалдары, Қорқыт Ата атындағы ҚУ, Қызылорда, 30.03.2022. Б. 135-144.
2. Сыдыкова Г.К., Құлтан И.Б., Тлеубаева Г.Б., Жүнісов Ж.Т., Байғабылов Ә.Б. Күн коллекторларында шағылыстырғыштарды қолдану. Торайғыров университетінің хабаршысы, 2024. Б. 274-285. <https://doi.org/10.48081/HDMJ5882>
3. Қойшиев Т.К., Сыдыкова Г.К., Құрманбаев Ғ.Б., Құлтан И.Б. SHADOW Analyzer бағдарламалық жүйеде рv-күн технологиясының компьютерлік архитектурасын құру және визуализациялау. Торайғыров университетінің хабаршысы, 2022. Б. 176-184.
4. Влияние температуры на эффективность солнечных батарей // GWS energy. URL: <http://gws-energy.ru/blog/40-vliyanie-temperatury-na-effektivnost-solnechnykh-batarej> (дата обращения 4.04.18).
5. Афанасьев В.П., Теруков Е.И., Шерченков А.А. Тонкопленочные солнечные элементы на основе кремния. СПб: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. 168 с.
6. Андреев В.М., Грилихес В.А., Румянцев В.Д. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения. Л.: Наука, 2010. 308 с.
7. Patel M.R. Wind and solar power systems: design, analysis, and operation. New York, USA: Taylor&Francis, 2006. 448 с.
8. Linxiao Z., Aaswath R., Ken X. Radiative cooling of solar cells // Optical. 2014. Vol. 1. Pp. 32-38.
9. Гульков В.Н., Колесниченко И.Д., Коротков К.Е. Исследование влияния нагрева солнечных модулей на эффективность преобразования излучения. СПб: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2019. С. 10-16.
10. Джумаев А.Я. Анализ влияния температуры на рабочий режим фотоэлектрической солнечной станции / НЭБ: «КиберЛенинка», 2015.

Исследование влияния излучения на эффективность преобразования при нагревании солнечных панелей

¹***СЫДЫКОВА Гульнар Кудайбергеновна**, к.т.н., ассоциированный профессор, sydykova77@mail.ru,

¹**УРАЗБАЕВ Нурлан Жеткергенович**, к.э.н., директор департамента, nurdon@korkyt.kz,

¹**КУЛТАН Исламбек Берикович**, магистр, инженер, islambek.kultan@mail.ru,

¹**ЖУНУСОВ Жандос Торгайбаевич**, магистрант, jandos.junusov@gmail.com,

¹**ЖАНСЕРИККЫЗЫ Акнур**, магистр, преподаватель, zhanserikkyzy@mail.ru,

¹НАО «Кызылординский университет имени Коркыт Ата», ул. Айтеке би, 29а, Кызылорда, Казахстан,

*автор-корреспондент.

Аннотация. В работе изучены изменения эффективности использования солнечной энергии в условиях жаркого климата территории Кызылординской области. Цель статьи – анализ эффективности солнечных панелей по изменению температуры и интенсивности воздействия солнечной радиации в климатических условиях Кызылординской области. Известно, что температура исследуемых солнечных панелей и уровень света, падающего на них, существенно влияют на выходную мощность. Исследование проводилось в лаборатории «энергосбережение на основе возобновляемых источников энергии» при кафедре «Электроэнергетика, техносферная безопасность и экология» Кызылординского университета имени Коркыт Ата. Получены данные при реальном режиме работы солнечных панелей мощностью 2,2 кВт. Изменения эффективности излучения при нагреве солнечных панелей были теоретически рассчитаны и сопоставлены с параметрами, полученными из фактической базы данных. Нагрев панелей определяли тепловизором. Температура погоды была получена с метеостанции, расположенной в лаборатории.

Ключевые слова: солнечная радиация, солнечная панель, солнечная энергия, возобновляемая энергия, фотоэлектрическая станция, температурный эффект, эффективность преобразования.

Investigation of The Effect of Radiation on The Conversion Efficiency When Heating Solar Panels

¹***SYDYKOVA Gulnar**, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, sydykova77@mail.ru,

¹**URAZBAYEV Nurlan**, Cand. of Econ. Sci., Director of Department, nurdon@korkyt.kz,

¹**KULTAN Islambek**, Master's Degree, Engineer, islambek.kultan@mail.ru,

¹**ZHUNUSOV Zhandos**, Master's Student, jandos.junusov@gmail.com,

¹**ZHANSERIKKYZY Aknur**, Master's Degree, Teacher, zhanserikkyzy@mail.ru,

¹NPJSC «Korkyt Ata Kyzylorda University», Aiteke bi Street, 29a, Kyzylorda, Kazakhstan,

*corresponding author.

Abstract. The work studied changes in the efficiency of solar energy use in the hot climate of the Kyzylorda region. The purpose of the article is to analyze the effectiveness of solar panels for temperature changes and the intensity of exposure to solar radiation in the climatic conditions of the Kyzylorda region. It is known that the temperature of the solar panels under study and the level of light incident on them significantly affect the output power. The study was conducted in the laboratory «Energy saving based on renewable energy sources» at the Department of «Electric Power Engineering, Technosphere Safety and Ecology» of the Korkyt Ata Kyzylorda University. The data were obtained in the real mode of operation of solar panels with a capacity of 2.2 kW. The changes in the radiation efficiency during heating of solar panels were theoretically calculated and compared with the parameters obtained from the actual database. The heating of the panels was determined by a thermal imager. The weather temperature was obtained from a weather station located in the laboratory.

Keywords: solar radiation, solar panel, solar energy, renewable energy, photovoltaic plant, temperature effect, conversion efficiency.

REFERENCES

1. Qūltan Ī.B., Janserikqyzy A., Iskendir R.S. Kūn elektr stansiasynyñ jabdyqtaryn tañdau jäne jüktemesin esep-teu. «Energia jäne resurstar ünemdeu tehnologialary: täjiribeler jäne keleşegı» IV Halyqaralyq ğylymi-täjiribelik online konferensia materialdary, Qorqyt Ata atyndağy QU, Qyzylorda, 30.03.2022. Pp. 135-144.
2. Sydykova G.K., Qūltan Ī.B., Tleubaeva G.B., Jūnisov J.T., Baiğabylov Ä.B. Kūn kolektorlarynda şağylystyrğystardy qoldanu. Toraiğyrov universitetiniñ habarşysy, 2024. Pp. 274-285. <https://doi.org/10.48081/HDMJ5882>

3. Qoşiev T.K., Sydykova G.K., Qürmanbaev Ğ.B., Qūltan İ.B. SHADOW Analyzer bađdarlamalyq jüiede pv-kün tehnologiasynyñ kömpüterlik arhitekturasyn qūru jāne vizualizasiāu. Toraiğyrov universitetiniñ habarşysy, 2022. Pp. 176-184.
4. Vlijanie temperatury na jeffektivnost' solnechnyh. GWS energy. URL: <http://gws-energy.ru/blog/40-vliyanie-temperatury-na-effektivnost-solnechnykh-batarej> (data obrashhenija 4.04.18).
5. Afanas'ev V.P., Terukov E.I., Sherchenkov A.A. Tonkoplnochnye solnechnye jelementy na osnove kremnija. Saint Petersburg: Publ. SPbGJeTU «LJeTI», 2011. 168 p.
6. Andreev V.M., Grilihes V.A., Rumjancev V.D. Fotojelektricheskoe preobrazovanie koncentrirovannogo solnechnogo izluchenija. L.: Nauka, 2010. 308 p.
7. Patel M. R. Wind and solar power systems: design, analysis, and operation. New York, USA: Taylor&Francis, 2006. 448 p.
8. Linxiao Z., Aaswath R., Ken X. Radiativecooling of solarcells. Optical. 2014. Vol. 1. Pp. 32-38.
9. Gul'kov V.N., Kolesnichenko I.D., Korotkov K.E. Issledovanie vlijanija nagreva solnechnyh modulej na jeffektivnost' preobrazovanija izluchenija. Saint Petersburg: Publ. SPbGJeTU «LJeTI», 2019. Pp. 10-16.
10. Dzhumaev A.Ja. Analiz vlijanija temperatury na rabochij rezhim fotojelektricheskoy solnechnoj stancii / NJeB: «KiberLeninka», 2015.