

ӘӨЖ 621.311.243

МРНТИ 31.27.13

DOI 10.56525/NMJG2058

КҮН ПАНЕЛЬДЕРІНІҢ ӨНІМДІЛІГІ МЕН ТИІМДІ ЖҰМЫСЫНА ӘСЕР ЕТЕТІН НЕГІЗГІ ФАКТОРЛАРДЫ ЖҮЙЕЛЕУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ

Жалгасбаев А. А.

Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан
e-mail: zhalgasbayev03@bk.ru

Андатпа. Бұл мақалада күн панельдерінің жұмыс тиімділігіне әсер ететін негізгі климаттық және қоршаған орта факторлары талданады. Атап айтқанда, желдің жылдамдығы мен бағыты, ауаның салыстырмалы ылғалдылығы, температуралық режим және жарық қарқындылығының күн жүйелерінің өнімділігіне ықпалы қарастырылды. Әрбір фактордың күн қондырғыларының энергетикалық шығысына әсер ету механизмі жеке зерттеледі. Ғылыми деректерге сәйкес, жел ағыны панельдердің бетін салқындатып, жылу алмасуды жақсартады, бұл олардың жұмыс тиімділігінің артуына әкелуі мүмкін. Дегенмен жел көтерілетін шаң-тозанды панельдер бетіне жинап, ластануды күшейтіп, энергия өндіру көлемін төмендететін жағдайлар да кездеседі. Температура күн панельдері үшін шешуші параметрлердің бірі болып табылады: қоршаған ортаның тым жоғары температурасы панельдердегі кернеудің төмендеуіне және фотоэлектрлік элементтердің өнімділігінің кемуіне себеп болады. Ылғалдылықтың әсері де айтарлықтай маңызды. Артық ылғал панельдердің металл бөліктерінде коррозия процесін тездетуі мүмкін, ал ылғалдың қолайлы деңгейі панельдің қызып кетпеуіне және жылудың біркелкі таралуына мүмкіндік береді. Жарықтандыру деңгейі, яғни панельдерге түсетін күн сәулесінің мөлшері олардың энергия шығару қабілетін тікелей анықтайды, сондықтан панельдердің орналасқан аймағы мен ауа райының ерекшеліктері нәтижеге бірден әсер етеді [1]. Бұл зерттеу әртүрлі климаттық жағдайларда олардың тиімділігі мен беріктігін арттыру мақсатында күн жүйелерін жобалау мен пайдалануға кешенді көзқарастың маңыздылығын атап көрсетеді.

Түйін сөздер. Ылғалдылық, температура, жел, тиімділік, панельдер, фотовольтаикалық жүйелер.

Кіріспе

Қазақстанның жаңартылатын энергия көздерін дамыту бағытындағы маңызды қадамдарының бірі — «Қазақстан Республикасының 2010–2014 жылдарға арналған индустриалды-инновациялық дамуды жеделдету мемлекеттік бағдарламасы», оның негізгі мақсаты — жаңартылатын энергия көздерінің үлесін арттыру, қазба отындарына тәуелділікті және көміртегімен қоршаған ортаның ластануын азайту. Осы бағыттарда күн панельдері (КП) шешуші рөл атқарады. Күн энергиясы айтарлықтай артықшылықтар ұсынады: бұл сарқылмайтын және экологиялық таза энергия көзі, ол барлық жерде қол жетімді, бұл оны әртүрлі аймақтар мен экономика секторларының энергетикалық қажеттіліктері үшін маңызды. Алайда, күн панельдерін сәтті және кең көлемде енгізу олардың өнімділігіне, құны мен беріктігіне тікелей әсер ететін көптеген технологиялық факторларға байланысты [2].

Күн энергетикасының дамуына байланысты осы КП-інің тиімділігі мен сенімділігін арттыру қажеттілігі артады. Бүгінгі таңда күн панелінің технологиялары материалдарды таңдау мен ұяшықтарды жобалаудан бастап салқындату әдістеріне және ақылды энергияны басқару жүйелерін пайдалануға дейінгі көптеген аспектілерді қамтиды. Осы факторлардың әрқайсысы жүйенің жұмысына және оның құнына айтарлықтай әсер етуі мүмкін, әсіресе климаттық жағдайларға және пайдалану ерекшеліктеріне байланысты.

Бұл жұмыс мақсаты – Ақтөбе облысында жобаланылатын күн панельдерінің өнімділігі мен рентабельділігіне әсер ететін негізгі технологиялық факторларды жүйелеу және терең талдау болып табылады. Жұмыс барысында материалтану саласындағы заманауи

жетістіктер мен инновациялар, фотовольтаикалық жүйелердің тиімділігін арттыру әдістері, инверторлар мен оптимизаторлардың рөлі, сондай-ақ КП-ін зияткерлік желілер мен аккумуляторлар жүйелерімен интеграциялаудың заманауи тәсілдері қарастырылады. Бұл факторлардың әртүрлі климаттық жағдайларда және олардың бүкіл қызмет ету мерзімінде панельдердің өнімділігіне қалай әсер ететініне, сондай-ақ олардың заманауи энергетикалық инфрақұрылым талаптарына бейімделу қабілетіне ерекше назар аударылады [3-5].

Бұл зерттеудің нәтижелері күн панельдерімен байланысты технологияларды оңтайландырудың негізгі бағыттарын анықтауға және өндірістік процестерді одан әрі жақсарту перспективаларын анықтауға мүмкіндік береді.

Материалдар мен әдістер

Фотоэлектрлік (немесе фотовольталық) материалдар мен жасуша технологиялары күн радиациясын электр энергиясына айналдыруда орталық рөл атқарады. Заманауи технологиялар тиімділікті арттыру, құнын төмендету және күн панельдерінің қызмет ету мерзімін ұзарту бағытында дамуда. Төмендегі 1-ші кестеде күн энергиясында қолданылатын материалдар мен жасуша технологиясының негізгі түрлерін қарастырылды.

1-кесте-фотоэлектрлік материалдар мен ұшық технологияларының түрлері

Жасуша түрі	Материалдар	ПӘК (КПД)	Артықшылықтары	Кемшіліктері
Кремнийлі күн элементтері	Монокристалдық кремний	22–24%	Жоғары тиімділік, ұзақ қызмет ету мерзімі, тұрақты жұмыс	Жоғары өндіріс құны
	Поликристалдық кремний	15–18%	Ірі қондырғылар үшін қолайлы	Температураға сезімтал, ПӘК төмен
Перовскитті күн элементтері	Перовскиттер	25%-ға дейін	Жоғары ПӘК әлеуеті, өндіріс құнының төмендігі, икемділік	Тұрақтылығы төмен, ылғал мен УК-сәулеге сезімтал
Тандемді күн элементтері	Кремний + перовскит	30%-дан жоғары	Көпқабаттылық есебінен өте жоғары ПӘК	Өндіріс күрделілігі, құны жоғары.
	Кремний + CIGS	30%-ға дейін	Оптималды баптауда жоғары тиімділік	Жоғары күн және өндіріс күрделілігі
Нанотехнологиялар және инновациялық материалдар	Кванттық нүктелер	Айнымалы (жоғары әлеует)	ПӘК-ті баптау мүмкіндігі, жарықты жақсы жұту	Құны жоғары, жаңа технологияларды қажет етеді
	Графен және басқа көміртекті наноматериалдар	-	Ұзық пайдалану, құнын төмендету әлеуеті	Зерттеу кезеңінде

Температураның күн элементтерінің жұмыс тиімділігіне әсері.

Температура күн модульдерінің электрлік және энергетикалық сипаттамаларына тікелей әсер ететін негізгі факторлардың бірі болып табылады. Жартылай өткізгішті материалдардың физикалық қасиеттеріне тәуелділікке байланысты температураның өзгеруі күн элементтерінің тиімділігіне және алынатын қуаттың деңгейіне айтарлықтай ықпал етеді. Температураның әсерін бірнеше негізгі аспектілер бойынша сипаттауға болады:

1) кернеу мен тиімділіктің төмендеуі: температураның жоғарылауымен күн батареясы тудыратын кернеу төмендейді. Бұл жартылай өткізгіш материалдың, әдетте кремнийдің қасиеттерінің өзгеруіне байланысты. Әдетте температураның әрбір +1 °C-қа артуы шығыс кернеуін шамамен 0,3–0,5% төмендетеді, бұл өз кезегінде жалпы қуаттың төмендеуіне алып келеді. Нәтижесінде, жоғары температура жағдайында күн станцияларының нақты өндірісі жобалық мәннен едәуір ауытқуы мүмкін.

2) кристалдық құрылымдарға теріс әсер ету: жоғары температура кристалдық құрылымдарды зақымдауы мүмкін, бұл жасушалардың деградациясын тездетеді және олардың қызмет ету мерзімін қысқартады. Бұл әсіресе термиялық қартаюға бейім кремний жасушалары үшін өте маңызды.

3) түнгі салқындау: тәуліктік температураның айтарлықтай өзгерістері де күн модульдерінің механикалық тұтастығына әсер етеді. Түнде модульдердің суып, таңертең күн сәулесімен тез қызуы жылулық кернеулерді тудырады. Бұл процестер әсіресе шыны-қаптама мен жартылай өткізгіш қабаттар арасында коэффициенттердің әртүрлілігіне байланысты микрожарықшақтардың (микротрещин) пайда болуына әкелуі мүмкін. Мұндай микрожарықшақтар ток жолдарының тұтастығын бұзып, модульден алынатын токтың төмендеуіне себеп болады, нәтижесінде жалпы өнімділікке теріс әсер етеді.

Температураның күн агрегаттарына әсерін төмендету мақсатында әртүрлі инженерлік шешімдер қолданылуда. Оларға: пассивті салқындату технологиялары (модуль мен қондырғылар арасына ауа арналары орналастыру, табиғи конвекцияны күшейту, жоғары жылу өткізгіштікке ие негіздер қолдану) және активті салқындату жүйелері (сұйықтықпен немесе ауамен мәжбүрлі салқындату, термоэлектрлік элементтер қолдану, жылу алмастырғыш модульдер) жатады. Мұндай әдістер температураның жағымсыз әсерін азайта отырып, модульдердің ұзақмерзімді жұмыс сенімділігін арттыруға және энергия өндірудің тұрақтылығын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді [6].

Жарықтандырудың әсері

Күн сәулесінің жарықтығы немесе қарқындылығы күн модульдерінің жұмысына тікелей әсер етеді:

1) күн модульдерінің қуаты түсетін күн радиациясының деңгейіне шамамен сызықты тәуелді: инсоляция артқан сайын модульдердің шығаратын тогы өседі, нәтижесінде жалпы қуат та жоғарылайды. Бұл көрсеткіш төмендеген кезде (бултты ауа райы, тұман, шаң, аэрозольдер және т.б.) модульдердің генерациясы пропорционалды түрде төмендейді.

2) толық емес жарықтандыру мен көлеңкенің әсері: күн модульдерінің жұмысына ішінара көлеңкенің түсуі айтарлықтай теріс ықпал етеді. Фотоэлектрлік ұяшықтар көбінесе тізбектей жалғанғандықтан, бір ұяшықтағы токтың төмендеуі бүкіл модуль тізбегінің ток күшін шектейді. Нәтижесінде тіпті 1–5% көлеңкеленген аймақ модульдің немесе тізбектің жалпы қуатын 20–50%-ға дейін төмендетуі мүмкін. Бұл мәселені шешу үшін айналма диодтар мен ұяшықтарды параллель қосу технологиялары қолданылады.

3) Альбедо және шашыраған сәулеленудің әсері: кей күн модульдері қоршаған орта объектілерінен шағылысқан (альбедо) немесе атмосферада шашыраған жарықпен де жұмыс істей алады, бұл жалпы жарықтандыруды арттырады. Алайда, мұндай шашыраңқы жарықтың тиімділігі тікелей күн сәулесінен төмен және Модульдер тікелей күн сәулесінде жақсы жұмыс істейді [7].

Нәтижелер

Температура мен жарық өзгерген кезде тиімділікті арттыруға арналған ұсыныстар

PV модульдері айнымалы температура мен жарық жағдайында максималды өнімділікпен жұмыс істеуі үшін келесі тәсілдер қолданылады:

1) температуралық және жарықтық өзгерістерге төзімді жаңа буын материалдарын қолдану: олар температураның ауытқуына аз сезімтал және өзгертін жарық жағдайларына жақсы бейімделеді.

2) күнді бақылау жүйелерін орнату: бақылау жүйелері күн модульдеріне күн сәулесінің оңтайлы деңгейін сақтай отырып, күн сәулесінің бұрышын өзгертуге мүмкіндік береді.

3) модульдерді пассивті және белсенді салқындату жүйелерін дамыту: PV модульдерін салқындату температураның тұрақтылығын сақтауға мүмкіндік береді және қызып кетудің алдын алады, бұл әсіресе ыстық климатқа қатысты.

Жарықтандыру мен температура PV-модульдің нақты жұмыс жағдайындағы қуатына тікелей әсер етеді. Бұл байланыс келесі теңдеумен сипатталады:

$$P = P_{max} \cdot \frac{G}{G_{ref}} \cdot (1 - \beta \cdot (T - T_{ref}))$$

мұндағы:

P — нақты жұмыс жағдайындағы модуль қуаты, Вт;

P_{max} — стандартты сынақ жағдайларындағы (STC) максималды қуат, Вт;

G — нақты түсетін күн радиациясы, Вт/м²;

G_{ref} — эталондық радиация (1000 Вт/м²);

β — модульдің температуралық коэффициенті (әдетте $-0,3 \dots -0,5 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$);

T — модульдің ағымдағы температурасы, $^{\circ}\text{C}$;

T_{ref} — эталондық температура (25°C).

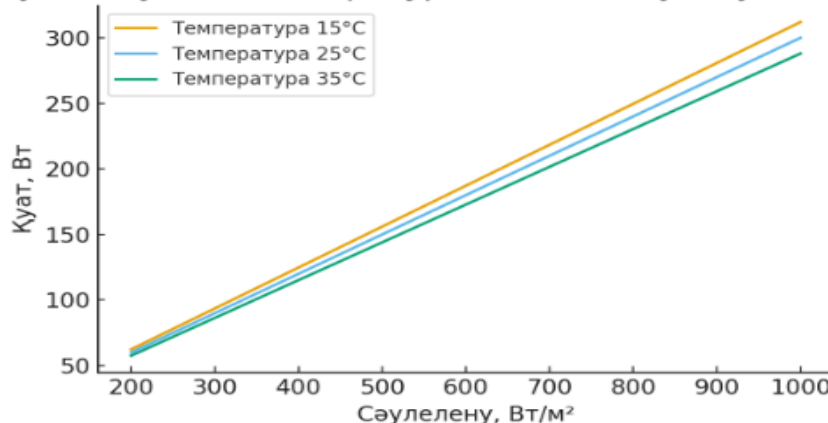
Бұл формула модульдің нақты пайдалану жағдайлардағы өнімділігін болжауға және күн электр станцияларының жылдық энергетикалық балансын есептеуге мүмкіндік береді [8-9].

Күн модульдерінің өндірістік қуаты тікелей түсетін күн радиациясының мөлшеріне байланысты. Жарықтандыру деңгейінің артуы модульдің шығаратын қуатын пропорционалды түрде көбейтеді, ал жарықтандыру төмендеген жағдайда генерация азаяды. Мысалы, стандартты сынақ жағдайында (STC) 1000 Вт/м² радиация кезінде модульдің максималды қуаты 300 Вт-қа жетеді. Күн сәулесінің азаюы осы қуатты пропорционалды түрде төмендетеді.

Температураның әсері модульдің нақты жұмыс қуатына температуралық коэффициент β арқылы енгізіледі. Бұл коэффициент модуль температурасының эталондық мәннен ($T_{ref} = 25^{\circ}\text{C}$) жоғары болған жағдайда қуаттың қаншалықты төмендейтінін көрсетеді. Температураның өсуі жартылай өткізгішті материалдардың электрлік қасиеттерін теріс әсер етіп, кернеуді төмендетеді, бұл модульдің жалпы қуатына кері әсерін тигізеді.

Екі негізгі тәуелділік — жарықтандыру мен температура — күн энергетикалық жүйелерін жобалау және пайдалану кезінде міндетті түрде ескерілуі тиіс (1 сурет). Осы факторларды басқару PV-модульдердің жалпы тиімділігін арттыруға және олардың қызмет ету мерзімін ұлғайтуға мүмкіндік береді [8–9].

Сәулелену мен температураның PV модулі қуатына әсері



Сурет 1 — Жарықтандыру және температураның PV-модуль қуатына әсері

Ылғалдылықтың әсері

Ылғалдылық-күн панельдерінің жұмысына әсер ететін маңызды климаттық факторлардың бірі. Күн радиациясы жарықты электр энергиясына айналдырудың негізгі шарттарын қамтамасыз еткенімен, жоғары ылғалдылық фотоэлектрлік жүйелердің тиімділігіне теріс және оң әсер етуі мүмкін. Мысалы, панельдердің бетіндегі ылғалдың конденсациясы күн радиациясының деңгейін төмендетуі мүмкін, ал жаңбыр оларды ластанудан тазартып, өнімділікті жақсартады. Ылғалдылықтың күн панельдерінің тиімділігіне әсерін модельдеудің бір әдісі-ылғалдылық деңгейіне (RH) және температураға (T) байланысты болуы мүмкін өнімділік коэффициентін қолдану. Қарапайым модельдердің бірі келесі формула болуы мүмкін:

$$P = P_{max} \times (1 - k_1 \cdot (RH - RH_{opt})) \times (1 - k_2 \cdot (T - T_{opt}))$$

мұндағы:

P — күн панельдерінің шығаратын қуаты, Вт;

E — күн энергиясын электр энергиясына түрлендіру тиімділігі (%);

I — түсетін күн радиациясының деңгейі, Вт/м²;

H — салыстырмалы ылғалдылық (%);

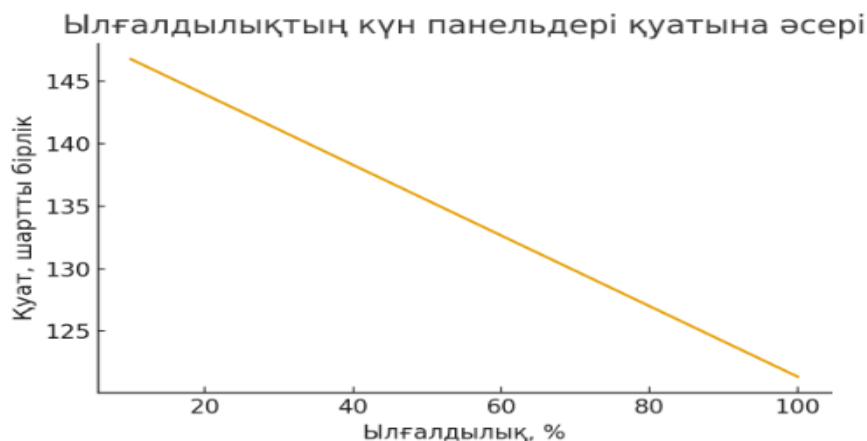
T — модульдің температурасы, °C;

T_{opt} — панельдің оптималды жұмыс температурасы, °C;

k_H — ылғалдылық әсерінен қуат төмендеу коэффициенті (бірлік/%), модуль қуатына ылғалдылықтың әсерін көрсетеді;

k_T — температура әсерінен қуат төмендеу коэффициенті (бірлік/°C).

Бұл теңдеу нақты климаттық жағдайларды ескере отырып, PV-модульдің нақты жұмыс өнімділігін бағалауға мүмкіндік береді. Ылғалдылық және температураның бірлескен әсерін ескеру, әсіресе қарқынды континенттік немесе тропикалық климаттық аймақтарда күн энергетикалық жүйелерін жобалау мен эксплуатациялауда маңызды болып табылады.



Сурет 2 — Ылғалдылықтың күн панельдерінің шығаратын қуатына әсері

График (сурет 2) көрсетіп отырғандай, күн панельдерінің шығаратын қуаты ылғалдылық деңгейіне тікелей тәуелді. Ылғалдылықты оңтайлы диапазонда ұстап тұру фотогальваникалық жүйелердің тиімділігін едәуір арттыра алады.

Жел әсерінің әсері

Желдің күн панельдерінің жұмысына әсері күрделі және көп қырлы мәселе болып табылады, ол күн жүйелерін жобалауға, орнатуға және пайдалануға кешенді көзқарасты қажет етеді. Осы факторлардың барлығын ескеру күн қондырғыларының тиімділігі мен сенімділігін едәуір арттыруы мүмкін, әсіресе құбылмалы климат пен қарқынды ауа-райы жағдайында. Күн панельдері төмен температурада тиімді жұмыс істейді. Жоғары температура тиімділіктің төмендеуіне әкелуі мүмкін, өйткені фотоэлементтердегі электр кедергісі артады. Табиғи салқындатқыш ретінде жел панельдердің оңтайлы жұмыс

температурасын сақтауға көмектеседі. Әр түрлі температурадағы тиімділік: мысалы, температураны 1°C –қа төмендету өнімділікті 0,5-0,7% - ға арттыруы мүмкін. Ыстық климаты бар аймақтарда желдің салқындатуға әсері әсіресе маңызды болуы мүмкін.

Маусымдық ауытқулар: жел жағдайлары жыл мезгілдеріне байланысты өзгеруі мүмкін, бұл әр түрлі маусымдардағы күн қондырғыларының жұмысына әсер етеді [10-12].

Панельдердің тазалығы: күн панельдерінің бетінің тазалығы олардың тиімділігіне тікелей әсер етеді. Шаң, кір және басқа ластаушы заттар күн сәулесін жауып, өнімділікті төмендетуі мүмкін.

Өзін-өзі тазартуды жақсарту: жел панельдердің бетін ластайтын бөлшектерді үрлеуі мүмкін.

Тұрақты күтім: панельдерді үнемі тазалау қажеттілігін ескеру маңызды. Жел шаңды көтеретін жағдайларда жоғары тиімділікті сақтау үшін жиі тазалау қажет болуы мүмкін.

Күн сәулесінің түсу бұрышы: жел күн панельдерінің бұрышына әсер етуі мүмкін, әсіресе олар жылжымалы құрылымдарға орнатылған болса.

Динамикалық жүйелер: қазіргі заманғы күн қондырғылары күн сәулесінің орналасуына байланысты панельдердің бұрышын өзгертетін күн сәулесін бақылау жүйелерімен жабдықталуы мүмкін. Егер жел бұл жүйелерге әсер етсе, бұл олардың жұмысына кері әсер етуі мүмкін [13].

Стационарлық қондырғылар: стационарлық панельдерде желдің қатты екпіні олардың бағытын сәл өзгертуі мүмкін, бірақ бұл әдетте өнімділіктің айтарлықтай жоғалуына әкелмейді.

Стресс жүктемелері: қатты жел күн панельдерінің құрылымына механикалық жүктемелер тудыруы мүмкін.

Төзімділік және қауіпсіздік: жүйелерді жобалау зақымдануды болдырмау үшін желдің ықтимал жүктемелерін ескеруі керек. Қатты дауылдар панельдер мен олардың бекіткіштерінің бұзылуына әкелуі мүмкін.

Беріктік сынақтары: панельдер мен олардың конструкциялары қатты жел жағдайында олардың қауіпсіздігі мен беріктігін қамтамасыз ету үшін күшті жел жүктемелеріне төзімділік сынақтарынан өтуі керек.

Интеллектуалды басқару жүйелері: күн радиациясын да, жел жағдайларын да бақылай алатын интеллектуалды басқару жүйелерін әзірлеу күн панельдерінің нақты уақыттағы жұмысын оңтайландыруға мүмкіндік береді [14].

Датчиктерді пайдалану: желдің жылдамдығы мен күн радиациясының деңгейін бақылайтын датчиктерді енгізу күн панельдерінің тиімділігін оңтайландыруға және шығындарды азайтуға мүмкіндік береді.

Экономикалық және экологиялық аспектілер: желдің күн панельдерінің жұмысына әсерін ескере отырып, экономикалық және экологиялық аспектілерді де ескеру қажет.

Шығындарды азайту: жел жағдайларын ескере отырып, күн панельдерінің өнімділігін оңтайландыру жүйелерді пайдалану және техникалық қызмет көрсету шығындарды төмендетуі мүмкін.

Тұрақтылық: күн батареялары сияқты жаңартылатын энергия көздерін қатты жел және басқа климаттық факторлар жағдайында пайдалану тұрақты дамуға және қоршаған ортаға әсердің төмендеуіне ықпал етеді.

Қорытынды

Күн панельдерінің тиімділігі көптеген факторларға байланысты, олардың арасында жел, ылғалдылық, температура және жарық маңызды рөл атқарады. Жел панельдердің жұмысына жоғарыдағы көрсеткіштер оң және теріс әсер етуі мүмкін. Бір жағынан, бұл модульдердің температурасын төмендетуге көмектеседі, бұл олардың жұмысын жақсартады, өйткені жоғары температура шығыс қуатын азайтады. Дегенмен, қатты жел панельдердің ластануына немесе зақымдалуына әкелуі мүмкін, бұл олардың тиімділігіне теріс әсер етеді. Температура маңызды фактор болып табылады, өйткені күн модульдері төмен температурада жақсы өнімділікті көрсетеді. Температураның жоғарылауы кернеудің төмендеуіне әкелуі

мүмкін, бұл қуаттың азаюына әкеледі. Ылғалдылық тиімділікке де әсер етеді: жоғары ылғалдылық конденсация мен коррозияға әкелуі мүмкін, бұл панельдердің қызмет ету мерзімін қысқартады. Алайда, кейбір жағдайларда қалыпты ылғалдылық жылудың біркелкі таралуына көмектеседі. Жарықтандыру немесе панельдерге жететін күн сәулесінің мөлшері де өте маңызды. Бұл көптеген факторларға, соның ішінде панельдердің бұрышы мен бағытына, сондай-ақ ауа-райына байланысты. Дұрыс емес бағыт немесе көлеңке олардың өнімділігін айтарлықтай төмендетуі мүмкін. Ақтөбе облысында жобаланатын күн панельдерінің жұмысын орнату үшін осы факторлардың барлығын ескеру қажет. Климаттық жағдайларды орнатуға, күтіп ұстауға және бақылауға назар аудару күн қондырғыларының тиімділігі мен беріктігін едәуір арттыра алады.

ӘДЕБИЕТ

1. Ghosh A., Joshi S. Impact of Environmental Factors on Solar Panel Efficiency. *Renewable Energy Reviews*. - 2023. – Vol. 160. C.112-126.
2. Alshahrani A. M. Effects of Dust Accumulation on Photovoltaic Performance: A Case Study. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. -2022. – Vol. 251. C. 111-119.
3. Kumar S., Kaushik S. C. Performance Analysis of Solar Photovoltaic Modules: A Review of Factors Influencing Efficiency. *Journal of Cleaner Production*, 347. C. 131- 145. (2022).
4. Ismail I., & Abdurrahman A. Temperature Effects on the Efficiency of Photovoltaic Modules: A Comparative Study. *Energy Reports*, (2022). – Vol. 8. C. 123-130.
5. Wu Z., Zhang Y., Hu Y. Shading Effects on Solar Panel Performance: A Review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, – (2022). Vol. 50. C. 103-115.
6. Khatri R., Yadav S. Influence of Orientation and Tilt Angle on Solar Panel Efficiency. *International Journal of Renewable Energy Research*, (2021). – Vol. 11(2). C. 801-810.
7. Li Y., Wang R., Chen H. The Impact of Climate Change on Solar Energy Production: A Global Perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (2021). – Vol. 142. C. 110-118.
8. Mahmood, H., Khan, M. Analyzing the Effects of Soiling on Solar Panel Efficiency: Case Studies in Desert Regions. *Solar Energy*, (2021). – Vol. 220. C. 487-495.
9. Yilmaz K., Aydin S. Effects of Local Climate on Photovoltaic Panel Performance: An Empirical Analysis. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, (2021). – Vol. 16(1). C. 1-9.
10. Bhanja A., Chatterjee K. Understanding the Impact of Humidity on Solar Panel Efficiency. *Journal of Solar Energy Engineering*, (2023). – Vol. 145(4). C.451-459.
11. Tiwari A., Tiwari S. The Role of Dust in the Degradation of Solar Panel Efficiency. *Energy Procedia*, – (2021). Vol. 158. C. 90-95.
12. Sahu S. K., Bhatia S. The Interplay of Wind and Solar Energy: Evaluating Performance Factors. *Renewable Energy*, (2022). – Vol. 185. C. 210-218.
13. Singh P., Kumar M. Tilt Angle Optimization for Solar Panels: Performance and Energy Efficiency. *Energy Reports*, (2023). – Vol. 9. C. 478-486.
14. Dehghan M. F., & Sadeghi S. Assessing the Effects of Albedo on Solar Panel Performance. *Applied Energy*, (2021). – Vol. 302. C. 117506.

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ И АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНУЮ РАБОТУ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

Жалгасбаев А. А.

Актюбинский региональный университет им. Жубанова, Актөбе, Казахстан
e-mail: zhalgasbayev03@bk.ru

Аннотация. В этой статье анализируются основные климатические и экологические факторы, влияющие на эффективность работы солнечных панелей. В частности, были рассмотрены скорость и направление ветра, относительная влажность воздуха, температурный режим и влияние интенсивности света на производительность солнечных систем. Механизм влияния каждого фактора на энергетический выход солнечных установок изучается индивидуально. Согласно научным данным, ветровой поток охлаждает поверхность панелей и улучшает теплообмен, что может привести к повышению эффективности их работы. Однако бывают случаи, когда пыль, переносимая ветром, накапливается на поверхности панелей, увеличивая загрязнение и уменьшая объем производства энергии. Температура является одним из решающих параметров для солнечных панелей: слишком высокая температура окружающей среды вызывает падение напряжения на панелях и снижение производительности фотоэлектрических элементов. Влияние влажности также очень важно. Избыток влаги может ускорить процесс коррозии металлических частей панелей, а приемлемый уровень влажности позволяет панели не перегреваться и равномерно распределять тепло. Уровень освещенности, то есть количество солнечного света, попадающего на панели, напрямую определяет их способность излучать энергию, поэтому площадь расположения панелей и погодные условия сразу же влияют на результат [1]. Это исследование подчеркивает важность комплексного подхода к проектированию и эксплуатации солнечных систем с целью повышения их эффективности и долговечности в различных климатических условиях.

Ключевые слова. Влажность, температура, ветер, эффективность, панели, фотоэлектрические системы.

SYSTEMATIZATION AND ANALYSIS OF THE MAIN FACTORS AFFECTING THE PRODUCTIVITY AND EFFICIENT OPERATION OF SOLAR PANELS

Zhalgasbaev A.

Aktobe Regional University named after Zhubanova, Aktobe, Kazakhstan
e-mail: zhalgasbayev03@bk.ru

Annotation. This article analyzes the main climatic and environmental factors affecting the efficiency of solar panels. In particular, the wind speed and direction, relative humidity, temperature conditions and the effect of light intensity on the performance of solar systems were considered. The mechanism of influence of each factor on the energy output of solar installations is studied individually. According to scientific data, the wind flow cools the surface of the panels and improves heat transfer, which can lead to increased efficiency of their operation. However, there are cases when wind-borne dust accumulates on the surface of the panels, increasing pollution and reducing energy production. Temperature is one of the crucial parameters for solar panels: too high an ambient temperature causes a voltage drop on the panels and a decrease in the performance of photovoltaic cells. The effect of humidity is also very important. Excess moisture can accelerate the process of corrosion of the metal parts of the panels, and an acceptable humidity level allows the panel not to overheat and evenly distribute heat. The level of illumination, that is, the amount of sunlight hitting the panels, directly determines their ability to emit energy, so the area of the panels and weather conditions immediately affect the result [1]. This study highlights the importance of an integrated approach to the design and operation of solar systems in order to increase their efficiency and durability in various climatic conditions.

Keywords. Humidity, temperature, wind, efficiency, panels, photovoltaic systems.