«8D06201 – Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар» білім беру бағдарламасы бойынша философия ғылымдарының докторы (PhD) дәрежесін алуға арналған диссертациялық жұмысқа

АҢДАТПА

ӘЛМЕН ДИНАРА БАҚЫТЖАНҚЫЗЫ

Күн сәулеленуінің төменгі концентрациясы жағдайында адаптивті салқындату жүйесімен фотоэлементтердің тиімділігін арттыру

Жалпы сипаттамасы. Диссертациялық жұмыс қабылдау бұрышының кеңдігі және заттар интернеті технологиясы негізіндегі адаптивті салқындату жүйесі есебінен, поликристалдық кремнийге негізделген төмен концентрациялы фотоэлектрлік жүйенің тиімділігін арттыруға арналған.

Зерттеудің өзектілігі. Концентрацияланған фотоэлектрлік жүйелер саласындағы заманауи зерттеулер түрлендіру тиімділігін арттыруға, жабдықтың құнын төмендетуге, жүйелердің қызмет ету мерзімін арттыруға және әртүрлі климаттық жағдайларда олардың жұмысын жақсартуға бағытталған.

Жоғары тиімділік пен төмен шығындарды біріктіретін оңтайлы бағыт төмен концентрациялы фотоэлектрлік жүйелер болып табылады. Френель линзасын пайдаланатын төмен концентрациялы жүйелер әдетте дәстүрлі төмен концентрациялы жүйелер деп аталады. Олар қымбат көп өткелді технологияларды қажет етпей-ақ қолжетімді поликристалды фотоэлементтерді пайдалануға мүмкіндік береді. Дегенмен, олардың құрылымы оптикалық жүйелермен және фотоэлементтерді салқындатумен байланысты бірқатар мәселелерге тап болады. Олардың бірі – шектеулі қабылдау бұрышы. Концентрацияланған жүйелердегі фотоэлементтің шектеулі ауданына байланысты күн сәулеленуінің максималды ағынын қабылдау үшін қосымша күн бақылау жүйелері қажет. Дегенмен, бұл құрылымның күрделілігін арттырады және қосымша энергия шығындарына әкеледі. Күннің траекториясына байланысты әр түрлі түсу бұрыштарында фотоэлектрлік элементте сәулеленудің тиімді концентрациясын қамтамасыз ету үшін оптикалық жүйенің қабылдау бұрышын кеңейту қажет. Бұл шешімді енгізу күнді бақылау жүйелеріне тәуелділікті азайтуға және түрлендіру тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Тағы бір маңызды міндет – температураны реттеу. Күн сәулеленуі концентрацияланған кезде фотоэлементтердің температурасы айтарлықтай жоғарылайды, бұл олардың тиімділігінің төмендеуіне және деградацияға әкеледі. Қызып кетудің алдын алу үшін белсенді салқындату жүйелері қолданылады – көбінесе суды немесе ауаны пайдаланады. Белсенді салқындату жүйелері қосымша энергияны тұтынатын қосалқы компоненттерді пайдалануды талап етеді, бұл жалпы түрлендіру тиімділігін төмендетуі мүмкін. Сондықтан оңтайлы өнімділікті қамтамасыз ету үшін олардың жұмысын фотоэлементтің температуралық күйіне сәйкес реттеу өте маңызды. Дәстүрлі сумен салқындату жүйелерінде фотоэлемент температурасы белгіленген шекті мәннен асқанда жүйе қосылады және салқындату орнатылған ең төменгі мәнге жеткенше

жалғасады. Бұл жағдайда су ағыны тұрақты деңгейде сақталады, бұл сорғының тұрақты энергия тұтынуына әкеледі. Салқындату ұзақтығы күн сәулеленуінің қуатына да, фотоэлементтердің қосылу конфигурациясына да байланысты. Төмен сәулелену жағдайында су ағынының тұрақты жылдамдығын сақтау артық энергияны тұтынуға әкеледі, ал жоғары сәулелену кезінде бекітілген режим жеткілікті салқындатуды қамтамасыз етпейді.

Осылайша, кең қабылдау бұрышын қамтамасыз ететін оптикалық элементтері бар поликристалды кремний негізіндегі төмен концентрациялы фотоэлектрлік жүйені әзірлеу маңызды мәселе болып табылады. Бұл күнді бақылау жүйелерін қосу жиілігін азайтады және энергияны аз тұтынатын бір осьті бақылау жүйелерін пайдалануға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, сумен салқындату жүйесінің заттар интернеті технологияларымен интеграциясы деректерді сымсыз жіберу және нақты уақыттағы бақылауды қолдау арқылы салқындату жүйесін адаптивті басқаруға мүмкіндік береді. Бұл шешім пайдалану шығындарын азайтады, жүйенің архитектурасын жеңілдетеді және оның сенімділігі мен басқару жеңілдігін арттырады, бұл осы зерттеудің өзектілігі мен сұранысын арттырады.

Зерттеудің мақсаты. Төмен концентрациялы фотоэлектрлік жүйелердің тиімділігін қабылдау бұрышы кең оптикалық элементтермен жабдықталған поликристалды кремний фотоэлементі және адаптивті салқындату жүйесі негізінде арттыру.

Зерттеудің міндеттері. Жұмыстың мақсатына жету үшін келесі міндеттер орындалу қажет:

- Жазық ойыс линзасы және Френель линзасы негізіндегі төмен концентрациялы фотоэлектрлік жүйені модельдеу және оның оптикалық параметрлерін зерттеу;
- Жазық ойыс линзасы және Френель линзасы негізіндегі төмен концентрациялы фотоэлектрлік жүйенің күн бақылау жүйесін зерттеу және оны дәстүрлі төмен концентрациялы фотоэлектрлік жүйемен салыстыру;
- П-тәрізді төмен концентрациялы фотоэлектрлік жүйені модельдеу, оның оптикалық параметрлерін зерттеу және шығыс қуатын әртүрлі төмен концентрациялы фотоэлектрлік жүйелермен салыстыру;
- Әртүрлі күн сәулеленуінің қуаты мен салқындату режимдері кезінде төмен концентрациялы фотоэлементтердің параметрлерін зерттеу және жүйе тиімділігін арттыру үшін адаптивті салқындату жүйесін әзірлеу.

Зерттеу әдістері:

- COMSOL Multiphysics ортасында сандық модельдеу – әртүрлі түсу бұрыштарында және әртүрлі оптикалық элементтер негізіндегі төмен концентрациялы оптикалық жүйелерде күн сәулеленуінің таралуын, шағылуын және концентрациясын сәуле траекториясын бақылау арқылы талдау;
- Шығыс қуатын, концентрация коэффициентін есептеу және жүйенің геометриялық параметрлерін оңтайландыруды MATLAB ортасында математикалық модельдеу;

- Ұсынылған және дәстүрлі төмен концентрациялы жүйелердің модельдеу негізінде энергия өнімділігінің салыстырмалы талдауы;
- Әртүрлі түсу бұрыштарында оптикалық тиімділікті бағалау үшін XGBoost регрессия, сызықтық регрессия, тірек векторлар регрессиясы, шешім ағашы және кездейсоқ орман сияқты машиналық оқыту әдістерін қолдану.

Зерттеудің нысаны. Адаптивті салқындату жүйесі бар поликристалды кремний элементі негізіндегі төмен концентрациялаушы фотоэлектрлік жүйесі.

Зерттеудің пәні. Төмен концентрациялы фотоэлектрлік жүйелерде қолданылатын оптикалық элементтердің геометриялық параметрлері, концентрациялаушы элементтердің фотоэлектрлік жүйенің сипаттамалары мен шығыс параметрлеріне әсері, салқындату процестері және элементтер бетінің температурасының таралуы.

Ғылыми жаңалығы мен ерекшелігі. Алғаш рет:

- төмен концентрациялы фотоэлектрлік жүйеде жазық ойыс линзаны, Френель линзасын және шағылысатын беттерді қолдану зерттелді. Мұндай оптиканы пайдалану дәстүрлі жүйелермен салыстырғанда концентрация коэффициенті мен қабылдау бұрышының көбейтіндісінің мәнін (concentration acceptance product – CAP) айтарлықтай арттыруды қамтамасыз ететіні анықталды.
- жазық ойыс линзасы, Френель линзасы және шағылысатын беттері бар төмен концентрациялы фотоэлектрлік жүйені пайдалану қабылдау бұрышын ұлғайту есебінен күнді бақылау жүйесін қосу жиілігін азайтатыны анықталды.
- Френель линзасынан, шағылыстыратын беттерден және тоғыз поликристалды фотоэлементтен тұратын төмен концентрациялы жүйе ұсынылды. Бұл оптикалық шешім бір осьті трекерді қолдануға мүмкіндік беретіні және бекітілген, концентрацияланбаған жүйемен салыстырғанда көбірек энергия өндіретіні анықталды.
- төмен концентрациялы фотоэлектрлік жүйе үшін адаптивті салқындату алгоритмі әзірленді. Бұл салқындату әдісі дәстүрлі тұрақты ағынды тәсілдерге қарағанда, күн сәулеленуінің қуаты мен фотоэлемент температурасына сәйкес су ағынын реттейді, осылайша салқындату энергиясын тұтынуды азайтады.

Қорғауға ұсынылған ғылыми тұжырымдар:

- Жазық ойыс линзадан, Френель линзасынан және шағылыстыратын беттерден тұратын төмен концентрациялы фотоэлектрлік жүйе дәстүрлі төмен концентрациялы фотоэлектрлік жүйемен салыстырғанда концентрация коэффициенті мен қабылдау бұрышының көбейтіндісі (CAP) бойынша 2,9 есе жоғары мәнді көрсетеді.
- Жазық ойыс линзасы, Френель линзасы және шағылысатын беттерге негізделген төмен концентрациялы фотоэлектрлік жүйе дәстүрлі төмен концентрациялы фотоэлектрлік жүйемен салыстырғанда күнді бақылау жүйесінің энергия тұтынуын 27%-ға төмендетеді.

- Бір осьті күнді бақылау жүйесіне орнатылған П-тәрізді төмен концентрациялы фотоэлектрлік жүйе, бекітілген фотоэлектрлік модульге қарағанда 2,2 есе көп энергия өндіреді.
- Салқындату жүйесін адаптивті басқару алгоритмі дәстүрлі жүйемен салыстырғанда жүйенің энергия шығынын 12%-ға төмендетеді.

Зерттеудің практикалық маңыздылығы. Жүргізілген зерттеулер фотоэлектрлік жүйелерге сұраныстың өсуі және пайдалану шығындарын азайту қажеттілігі жағдайында өзектілікке ие. Әзірленген оптикалық шешімдер мұндай жүйелердің оптикалық тиімділігін және қабылдау бұрышын айтарлықтай арттыра алады, бұл күні бақылау жүйесінің дәлдігі мен күрделілігіне қойылатын талаптарды төмендетеді, олардың энергия тұтынуын азайтады және өндірілетін энергияны сақтауға мүмкіндік береді. Фотоэлемент бетінде температураның біркелкі таралуын қамтамасыз ететін және олардың салқындату уақытын қысқартатын тиімді салқындату жүйелерін пайдаланудың маңыздылығына ерекше назар аударылады, бұл айнымалы күн сәулеленуі мен температураның ауытқуы жағдайында фотоэлектрлік қондырғылардың төзімділігін, жұмысының тұрақтылығын және жалпы тиімділігін арттырады.

Алынған нәтижелердің сенімділігі мен негізділігі. Диссертациялық жұмыстың нәтижелерінің дұрыстығы импакт-факторы нөлден жоғары шетелдік журналдарда жарияланымдардың болуымен дәлелденеді.

Автордың жеке үлесі. Автор COMSOL Multiphysics ортасында төмен концентрациялы фотоэлектрлік жүйені әзірлеу және модельдеу, сондай-ақ адаптивті сумен салқындату жүйесін жасау және оңтайландыруды қоса алғанда, зерттеу жұмысының барлық бөлімдерін өз бетінше орындады. Шығыс қуатын есептеу және жүйе сипаттамаларының сандық талдауын MATLAB ортасында жүргізді. Тапсырмаларды құрастыру және алынған нәтижелерді талқылау ғылыми жетекшілермен бірлесіп жүргізілді.

Жұмыстың апробациясы. Диссертациялық жұмыста алынған нәтижелер келесідей дерек көздерінде жарияланды:

Thomson Reuters және Scopus халықаралық ғылыми деректер базасына кіретін басылымдарда жарияланған мақалалар:

1. Orynbassar S., **Almen D.**, Mekhilef S., Kapparova A., Dosymbetova G., Nurgaliyev M., Saymbetov A., Ibraimov M., Kuttybay N., Yershov E., Koshkarbay N., Zholamanov B., Bolatbek A. Minimum solar tracking system for a Fresnel lens-based LCPV // Renewable Energy. – 2024. – Vol. 237. – 121607 (https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.121607). (WoS: Impact Factor 9.1, Q1. Scopus: percentile 98 %)
2. **Almen D.**, Kapparova A., Yershov E., Orynbassar S., Dosymbetova G., Nurgaliyev M., Saymbetov A., Kuttybay N., Zholamanov B., Bolatbek A., Koshkarbay N. Output power analysis of low concentrated solar cells with Fresnel lens optics // Optik. – 2024. – Vol. 317. – P. 172088 (https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2024.172088). (Scopus : percentile 85 %)
3. Kapparova A., Orynbassar S., Dosymbetova G., **Almen D.**, Yershov E., Saymbetov A., Nurgaliyev M., Kuttybay N., Algazin N. Modelling of the Pi-Shape Low-Concentrating Photovoltaic Solar Cells // IIUM Engineering Journal. – 2025. – Vol. 26,

No. 2. – P. 81–95 (https://doi.org/10.31436/iiumej.v26i2.3175). (WoS: Impact Factor 0.7, Q3. Scopus : percentile 50 %)

4. Kapparova A., Orynbassar S., Dosymbetova G., **Almen D.**, Yershov E., Saymbetov A., Nurgaliyev M., Algazin N., Sharipbay A., Zhastalapova D. Modeling П-shaped concentrating optics for LCPV solar cells using Fresnel lens // Latvian Journal of Physics and Technical Sciences. – 2024. – No. 5. – P. 101–116 (DOI:10.2478/lpts-2024-0039). (WoS: Impact Factor 0.7, Q4. Scopus: percentile 37 %)

5. Orynbassar S., Kapparova A., Dosymbetova G., **Almen D.**, Yershov E., Saymbetov A., Nurgaliyev M., & Zholamanov B. Simulation of an active cooling system for low-concentrating photovoltaic solar cells // Acta Polytechnica. – 2025. – Vol. 65, No. 4. – P. 429–441 (https://doi.org/10.14311/AP.2025.65.0429) (WoS: Impact Factor 0.5, Q4. Scopus: percentile 32 %)

Патент және авторлық куәлік:

1. Құттыбай Н. Б., Орынбасар С. О., Саймбетов А. К., Нұрғалиев М. К. Ибраимов М. К., Досымбетова Г. Б., Болатбек А. Б., Қошқарбай Н. Ж., Жоламанов Б. Н., Каппарова А. А., **Әлмен Д. Б.** Минималды күнді бақылау жүйесі бар төмен концентрациялы фотоэлектрлік жүйе // Өнертабысқа патент №37370 – 2025 – Қазақстан Республикасы: «Ұлттық зияткерлік меншік институты».

2. **Әлмен Д.Б.**, Ибраимов М.К., Нұрғалиев М.К., Саймбетов А.К., Бүркіт Ш. А. Төмен концентрациялы фотоэлектрлік жүйелер үшін адаптивті салқындату жүйесі // Авторлық куәлік № 62891 –2025 – Қазақстан Республикасы: «Ұлттық зияткерлік меншік институты ».

Диссертациялық жұмыстың құрылымы және көлемі. Диссертациялық жұмыс кіріспеден, төрт тараудан, қорытындыдан және 108 пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Жұмыстың жалпы көлемі 107 бетті құрайды, оның ішінде 79 сурет және 7 кесте.

Диссертациялық жұмыстың бірінші тарауында концентрациялаушы жүйелер, оның ішінде төмен концентрация жағдайындағы фотоэлектрлік жүйелерде қолданылатын оптикалық элементтерге және салқындату әдістеріне шолу жасалған. Диссертацияның екінші тарауында жазық ойыс линза мен шағылыстырғыш беттері бар Френель линзасына негізделген төмен концентрациялы фотоэлектрлік жүйесін модельдеу, жалпы сипаттамалары мен шығыс параметрлері зерттелген. Үшінші тарау П-тәрізді шағылыстырғыш беттері бар Френель линзасына негізделген төмен концентрациялы фотоэлектрлік жүйесін модельдеуге, оптикалық параметрлері және салқындату жүйесін зерттеуге арналған. Төртінші тарауда төмен концентрациялы фотоэлектрлік жүйені адаптивті салқындату және оның шығыс параметрлерін зерттеу жұмыстары жасалған.

Диссертациялық жұмыс тақырыбының ғылыми-зерттеу бағдарламаларының жоспарларымен байланысы

Диссертациялық жұмыс 2023-2025 жылдарға арналған, жеке тіркеу нөмірі (ЖТН) AP19574454 «Күн сәулесін концентрациялау жағдайында жаңа бейімделген суыту жүйесімен кремний фотоэлементтерінің тиімділігін зерттеу» ғылыми-зерттеу жұмысының (ҒЗЖ) жоспарларына сәйкес орындалған.