

АНДАТПА

доктор философия (PhD) дәрежесін алу үшін
8D06101 – «Ақпараттық жүйелер» мамандығы бойынша

Шермантаева Жазира Утегеновна

Электр энергетикасы үшін ақпараттық жүйені IoT технологиясын қолдана отырып құру

Жұмыстың өзектілігі. Электр энергетикасы – кез келген мемлекеттің дамуының негізі. Қазіргі таңда Қазақстан өзінің энергетикалық жүйесін жаңғырту және экологиялық таза технологияларға көшу қажеттілігіне тап болып отыр. Елімізде жаңартылатын энергия көздерінің (ЖЭК) үлесі біртіндеп өсіп келеді, алайда күн және жел генерациясы ауа райы жағдайларына тәуелді: кейде энергия артық болса, кейде жетіспейді. Бұл энергожүйенің тұрақты жұмысын қамтамасыз етуді қиындатады.

Жағдайды электр желілерінің жоғары тозуы (шамамен 56 %) және жыл сайын өсіп келе жатқан электр энергиясын тұтыну қиындатады. 2024 жылы Қазақстан энергожүйесінің орнатылған қуаты шамамен 22 ГВт болды, оның 80 %-ы жылу электр станцияларына, ал ЖЭК үлесі небәрі 7 %-ға жуық. Мұндай жағдайда авариялық өшіру қаупі артады, ал желілерді басқару тез әрі дәл шешімдерді талап етеді.

Осы мәселелерді шешу үшін мемлекет желілерді жаңғырту, жаңа энергия көздерін қосу және энергобаланстағы ЖЭК үлесін ұлғайту жобаларын іске қосты. Мұның бәрі энергетикалық объектілерді бақылау мен басқаруды жақсартудың заманауи цифрлық технологияларын енгізуді қажет етеді.

Интернет заттары (IoT), ақылды желілер (Smart Grid) және FPGA-ға негізделген аппараттық-бағдарламалық құралдар мыналарға мүмкіндік береді:

- жабдықтың жай-күйін нақты уақытта бақылау,
- ақауларға жылдам әрекет ету,
- энергия тиімділігін арттыру,
- электр энергиясының шығынын 12 %-ға дейін азайту,
- электрмен жабдықтаудың сенімділігін арттыру.

Осылайша, IoT және FPGA технологияларын пайдалана отырып, электр энергетикалық объектілерді бақылау мен басқарудың ақылды жүйесін әзірлеу Қазақстанның энергетикалық қауіпсіздігін қамтамасыз ететін және әлемдік тұрақты даму үрдістеріне сәйкес келетін өзекті міндет болып табылады.

Зерттеу объектісі – Қазақстан Республикасы Түркістан облысының жергілікті электр энергетикалық жүйелері, оның ішінде 35/10/0,4 кВ тарату электр желілері және «Жаңа» 35/10 кВ қосалқы станциясы («Оңтүстік Жарық Транзит» ЖШС), жаңартылатын энергия көздерінің жоғары үлесі және жабдықтың елеулі физикалық тозуы жағдайында жұмыс істейді.

Диссертациялық жұмыстың негізгі мақсаты – электр энергетикалық жүйелер үшін IoT, Smart Grid және FPGA-да деректерді өңдеу технологиялары негізінде нақты уақыттағы ақылды ақпараттық жүйені әзірлеу және практикалық енгізу.

Жүйе мыналарды қамтамасыз етуге арналған:

- нақты уақыттағы үздіксіз мониторинг,
- авариялық режимдерді жедел болжау және алдын алу,
- жаңартылатын энергия көздерінің жоғары үлесі бар желінің жұмыс режимдерін автоматты басқару.

Нәтижесінде электрмен жабдықтаудың сенімділігі артады, технологиялық шығындар азаяды және жергілікті электр энергетикалық жүйелердің жұмысы оңтайландырылады.

Жұмыстың идеясы. Диссертациялық жұмыстың идеясы – Интернет заттары (IoT), Smart Grid және FPGA-дағы жылдам деректерді өңдеу технологияларын біріктіретін жергілікті электр энергетикалық жүйелерді басқару мен бақылаудың ақылды жүйесін құру. Жүйе желінің жай-күйін үздіксіз бақылауды, авариялық жағдайларды болжауды және жұмыс режимдерін автоматты түрде оңтайландыруды қамтамасыз етеді, бұл жаңартылатын энергия көздерін тиімді біріктіруге, технологиялық шығындарды барынша азайтуға және желілік инфрақұрылымның жоғары тозуы мен генерацияның өзгермелі сипаты жағдайында электрмен жабдықтаудың сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Алынған нәтижелердің жаңалығы мен маңыздылығының негіздемесі. Диссертацияда жүргізілген зерттеулер ғылыми жаңалығы мен практикалық маңызы бар, өйткені ЖЭК үлесінің өсуі және желілік инфрақұрылымның тозуы жағдайында Қазақстанның жергілікті электр энергетикалық жүйелерінің (ЖЭЭЖ) тұрақтылығы мен сенімділігін қамтамасыз етудің өзекті міндеттерін шешуге бағытталған.

1. Марков процестері мен ұқсастық теориясы негізінде әзірленген модель ЖЭЭЖ-нің тұрақтылығын кешенді бағалауға мүмкіндік береді, жабдықтың жұмыс істеуінің ықтималдық сипаты мен генерация және жүктеме режимдерінің өзгергіштігін ескереді. Ұсынылған тәсіл:

- ықтимал авариялық жағдайлар мен істен шығу қаупін болжауға,
- энергожүйе архитектурасын таңдауды негіздеуге,
- тарату желілерінің құрылымы мен жұмыс режимдерін оңтайландыруға мүмкіндік береді. Модельдің жаңалығы – таратылған генерацияның жоғары үлесі бар нақты желілерді талдау үшін марков процестері әдістері мен ұқсастық принциптерін біріктіру, бұл бұрын отандық энергетикада іс жүзінде қолданылмаған.

2. FPGA және ESP32 негізіндегі гибриді IoT-мониторинг кешені әзірленді, ол нақты уақыттағы жоғары жылдамдықтағы деректерді өңдеуді және қосалқы станциялар жабдығын қашықтан ақылды басқару мүмкіндігін қамтамасыз етеді. FPGA қолдану:

- авариялық сигналдарды өңдеудегі кідірістерді азайтады,
- жүйенің ақауға төзімділігін арттырады,

- масштабталушылықты және Smart Grid платформаларымен біріктіруді қамтамасыз етеді. Ақпараттық жүйе қауіпсіз IoT хаттамалары бойынша деректерді тасымалдауды қолдайды және модульдік архитектураға ие, бұл оны Қазақстанның желілік компанияларында өнеркәсіптік енгізуге жарамды етеді.

Зерттеу міндеттері:

1. Энергетикадағы цифрлық трансформацияның заманауи технологияларын талдау Smart Grid, IoT және FPGA шешімдерін қоса алғанда, электр энергетикасын цифрландырудың заманауи тәсілдері мен технологияларына жүйелі шолу жүргізу. Олардың сенімділікке, энергия тиімділігіне және жергілікті және таратылған энергетикалық жүйелердің экологиялық тұрақтылығына әсерін анықтау, сондай-ақ Қазақстан жағдайларына бейімдеу мүмкіндіктерін анықтау.
2. Жаңартылатын энергия көздері бар электр желілерінің жұмыс моделін әзірлеу ЖЭК біріктірілген жергілікті электр желілерінің математикалық және имитациялық моделін құру, генерацияның өзгермелі сипаты мен жүктемелердің өзгергіштігін ескере отырып. Модель ықтимал авариялық жағдайларды болжауға, желінің тұрақтылығын бағалауға және оның құрылымы мен жұмыс режимдері бойынша оңтайлы шешімдер қабылдауға мүмкіндік береді.
3. Электр энергетикалық жабдықтың жұмыс режимдерін бақылауға арналған IoT-құрылғысын жасау FPGA және ESP32 микроконтроллерлері негізінде нақты уақытта қосалқы станциялардан деректер жинайтын, жабдықтың жұмыс режимдерін талдайтын және ақпараттық жүйеге жіберетін аппараттық-бағдарламалық шешім әзірлеу. Бұл желі параметрлерінің өзгеруіне жылдам әрекет етуді және авария қаупін азайтуды қамтамасыз етеді.
4. Smart-мониторингтің ақылды ақпараттық жүйесін құру Жергілікті электр энергетикалық жүйелерді орталықтандырылған басқаруға арналған бағдарламалық-аппараттық платформа жасау. Жүйе:
 - IoT-құрылғылардан деректерді жинау және өңдеу,
 - режимдік параметрлерді визуализациялау және аналитикалық бақылау,
 - авариялық және критикалық жағдайларды болжау,
 - желінің тұрақтылығы мен тиімділігін арттыру үшін басқарушылық шешімдер қабылдауды қолдауды қамтамасыз етеді.

Қорғауға шығарылатын негізгі ережелер:

1. Жаңартылатын энергия көздерін ескере отырып, ықтимал авариялық жағдайларды болжауға және желілердің оңтайлы құрылымын тандауға мүмкіндік беретін марков процестері мен ұқсастық теориясын пайдалана отырып, жергілікті электр энергетикалық жүйелердің тұрақтылығын бағалаудың моделі әзірленді.
2. Қосалқы станциялардан деректерді жинайтын және өңдейтін, режимдік параметрлерді визуализациялайтын және жергілікті энергетикалық жүйелерді жедел басқаруға көмектесетін Smart-мониторингтің ақылды жүйесінің архитектурасы ұсынылды.

3. Жабдықтың жұмысын нақты уақытта бақылауға, деректерді жылдам жинау және тасымалдауға, сондай-ақ қосалқы станцияларды қашықтан басқаруға мүмкіндік беретін FPGA және ESP32 негізіндегі гибриді IoT-құрылғысы жасалды.

4. Жаңартылатын генерацияның жоғары үлесі бар жергілікті энергожүйелерде сенімділікті, энергия тиімділігін арттыру және энергия шығынын азайту үшін IoT және FPGA технологияларын қолданудың тиімділігі дәлелденді.

5. Қазақстанның электр энергетикасы объектілерінде ұсынылған жүйені енгізу бойынша практикалық ұсынымдар әзірленді, таратылған желілердің ерекшеліктерін, ЖЭК біріктіруді және ЖЭЭЖ жұмысының тұрақтылығы мен тиімділігіне қойылатын талаптарды ескере отырып.

Зерттеу әдістері:

1. Математикалық модельдеу және критериалдық бағалау әдістері – жергілікті электр энергетикалық жүйелердің жұмысын сандық талдау, тұрақтылық пен әртүрлі желі құрылымдарының тиімділігін бағалау үшін.

2. Имитациялық модельдеу – жаңартылатын энергия көздері бар таратылған электр желілерінің жұмыс динамикасын қалпына келтіру және ұсынылған басқару алгоритмдерінің тиімділігін тексеру үшін.

3. Жүйелі талдау және салыстырмалы әдістер – энергетикалық жүйелерді кешенді зерттеу, бар шешімдердің күшті және әлсіз жақтарын анықтау және оңтайлы архитектуралар мен тәсілдерді таңдау үшін.

4. Марков процестері мен ұқсастық теориясы негізіндегі модельдер – істен шығу ықтималдығын болжау, желінің сенімділігін талдау және ЖЭЭЖ-нің оңтайлы құрылымы мен жұмыс режимдері бойынша шешім қабылдау үшін.

Практикалық маңыздылығы. Жұмыс нәтижелері Қазақстанның жергілікті электр энергетикалық жүйелерінің сенімділігі мен энергия тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. FPGA және ESP32 негізіндегі әзірленген модель мен IoT-құрылғысы қосалқы станцияларды бақылауды және жедел басқаруды қамтамасыз етеді, энергия шығынын қысқартады және авариялық жағдайларға әрекет етуді жеделдетеді. Ұсынылған шешімдерді энергетикалық компаниялар желілерді жаңғырту және жаңартылатын энергия көздерін біріктіру үшін енгізе алады.

Ғылымды дамыту бағыттары мен ҚР мемлекеттік бағдарламаларына сәйкестігі: Жұмыс толық сәйкес келеді:

1. 2024–2026 жылдарға арналған ҚР ғылымының басым бағыты: «Энергия, алдыңғы қатарлы материалдар және көлік» және «Алдыңғы қатарлы өндіріс, цифрлық технологиялар» (энергетиканы цифрландыру және ЖЭК).

2. «Цифрлық Қазақстан» мемлекеттік бағдарламасы (2.4 іс-шара – электр энергетикасын цифрландыру, IoT және Smart Grid енгізу).

3. ҚР ТЭК және электр энергетикасын дамыту тұжырымдамасына 2023–2029 жж. (ҚР Үкіметінің 2023.28.03 № 260 және № 263 қаулылары) – шығындарды азайту және ЖЭК біріктіру міндеттері.

4. ҚР-ның 2029 жылға дейінгі ұлттық даму жоспары (ҚР Президентінің 2023.01.02 № 127 Жарлығы) – № 58 міндет «Электр энергетикасын жаңғырту және цифрландыру».

5. БҰҰ Тұрақты даму мақсаты № 7.

Нәтижелер мен қорытындылардың негізділігі мен дәйектілігі. Алынған нәтижелердің дәйектілігі заманауи математикалық және имитациялық модельдеу әдістерін, критериалдық талдауды және жүйелі тәсілді қолдану арқылы қамтамасыз етілді. Марков процестері мен ұқсастық теориясын қолдану жүктеме мен генерацияның ықтималдық өзгерістерін ескере отырып, жергілікті электр энергетикалық жүйелердің жұмысын болжауға мүмкіндік береді.

FPGA және ESP32 негізіндегі IoT-құрылғысын әзірлеу және сынау эксперименттік стендте жүргізілді, бұл ұсынылған жүйенің қосалқы станцияларды бақылау және басқару үшін практикалық қолданылуын растайды. Барлық қорытындылар модельдеу нәтижелеріне, эксперименттік тексерулерге және жүйелі талдауға негізделген, бұл олардың ғылыми негізділігі мен дәйектілігін қамтамасыз етеді.

Жұмыстың көлемі мен құрылымы. Диссертация кіріспеден, төрт тараудан тұратын негізгі бөлімнен және қорытындыдан тұрады. Жалпы көлемі – 152 бет машиналық мәтін. Жұмыста 84 сурет, 11 кесте, 149 атаудан тұратын пайдаланылған әдебиеттер тізімі және 7 қосымша бар.

Зерттеудің негізгі нәтижелерінің сипаттамасы:

- Марков процестері мен ұқсастық теориясы негізінде жергілікті электр энергетикалық жүйелердің тұрақтылығын бағалаудың моделі әзірленді.
- Қосалқы станциялардан деректерді жинауды, өңдеуді және визуализациялауды қамтамасыз ететін, режимдік параметрлерді бақылауды, критикалық жағдайларды болжауды және жергілікті энергетикалық жүйелерді жедел басқаруды қолдайтын Smart-мониторингтің ақылды жүйесі жасалды.
- Қосалқы станциялар жабдығының жұмысын нақты уақытта бақылауға, деректерді тез өңдеуге және желі жұмыс режимдерін қашықтан басқаруға арналған FPGA және ESP32 негізіндегі гибриді IoT-құрылғысы әзірленді.
- Имитациялық модельдеу және тестілеу стендіндегі эксперименттік тексерулер арқылы ұсынылған шешімдердің тиімділігі бағаланды. Нәтижелер сенімділіктің артуын, энергия шығынының 12 %-ға дейін азаюын және жаңартылатын генерацияның жоғары үлесі бар таратылған желілерді басқарудың жақсаруын көрсетті.
- Қазақстанның электр энергетикасы объектілерінде ұсынылған жүйені енгізу бойынша практикалық ұсынымдар әзірленді.

Қолданылу саласы. Зерттеу нәтижелері мен әзірленген шешімдер Қазақстан Республикасының жергілікті және таратылған электр энергетикалық жүйелерінде мыналар үшін қолданылуы мүмкін:

- 35–10–0,4 кВ қосалқы станциялары мен тарату желілерін нақты уақытта бақылау және басқару;

- жаңартылатын энергия көздерінің жоғары үлесі кезінде ЖЭЭЖ жұмысының сенімділігі мен тұрақтылығын арттыру;
- күн және жел электр станцияларын қолданыстағы желіге тиімді біріктіру;
- Smart Grid және IoT цифрлық технологияларын енгізу арқылы жұмыс режимдерін оңтайландыру, технологиялық шығындарды азайту және авариялық өшірулерді қысқарту;
- «Цифрлық Қазақстан» бағдарламасы аясында және 2025–2030 жылдарға арналған тарату кешенін жаңғырту шеңберінде жаңа буынның цифрлық қосалқы станциялары мен микрожелілерін құру.

Әзірленген шешімдерді энергия беруші ұйымдар, өңірлік электр желілік компаниялар және өз генерациялық қуаттары бар өнеркәсіптік кәсіпорындар пайдалануға ұсынылады.

Әр жарияланымды дайындаудағы докторанттың үлесі Диссертация нәтижелерін апробациялау және жариялау барысында докторант – Шермантаева Жазира Өтегенқызы – келесі ғылыми жұмыстарды дайындады. Барлық жарияланымдарда докторант шешуші үлес қосты (60-тан 100 %-ға дейін): модельдерді әзірлеу, есептеулер, модельдеу, эксперименттер, мәтін жазу және ресімдеу. Бұл оның электр энергетикасындағы ақылды бақылау және басқару жүйелері бойынша зерттеулерге белсенді ғылыми үлесін растайды.

1. Scopus дерекқорындағы мақалалар (6 мақала, оның ішінде 1-і 85 процентильді)

1. Wójcik W., Lezhniuk P., Shermantayeva Z. Integrated Assessment of the Quality of Functioning of Local Electric Energy Systems Energies, 2025, Vol. 18, Issue 1, Article 137. DOI: <https://doi.org/10.3390/en18010137> (22 бет). Докторант – үшінші автор, жергілікті энергожүйелердің жұмыс сапасын кешенді бағалаудың MSSB-алгоритмін әзірледі, барлық математикалық есептеулер мен модельдеуді орындады, мәтіннің 70 %-ын жазды (Scopus бойынша 85 процентиль).
2. Mamyrbayev O., Shermantayeva Zh. Cybersecurity Framework for IoT-Integrated Electric Power Information Systems International Journal of Industrial Engineering and Management, 2024. DOI: <https://doi.org/10.24867/ijiem-376> (12 бет). Докторант – екінші автор, энергетикадағы IoT үшін киберқауіпсіздік фреймворкін ұсынды, қауіп-қатерлерді талдауды жүргізді және мақаланың 80 %-ын жазды.
3. Kalimoldayev M., Wójcik W., Shermantayeva Zh. Development Of A Monitoring System For Electric Power Substations Based On IoT And Implementation Of Designs On FPGA International Journal of Electronics and Telecommunications, 2023. DOI: <https://doi.org/10.24425/ijet.2023.147708> (10 бет). Докторант – үшінші автор, қосалқы станцияларды бақылауға арналған FPGA-модулін дербес жобалады және іске асырды, негізгі техникалық бөлімді жазды.

4. Wójcik W., Tymchenko L., Shermantayeva Z. Optical System Visualization of Combined Reflectance Model Based on Cubic and Quadratic Functions Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.3023138> (8 бет). Докторант – төртінші автор, энергетикалық жүйелерге арналған оптикалық модельдердің визуализация алгоритмдерін әзірледі, симуляцияларды орындады және мәтіннің 60 %-ын жазды.

5. Kalimoldayev M.N., Abdildayeva A.A., Shermantayeva Zh.U. Implementation of a Database on Solar Resources for the Design of PV Solar Technologies Book Chapter, 2024. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-49711-7_26 (15 бет). Докторант – үшінші автор, PV-жүйелерді жобалауға арналған күн ресурстарының дерекқорын құрды, есептеулерді орындады және тарауды жазды.

2. ***ҚР ККСОН тізіміне енгізілген журналдардағы мақалалар (4 мақала)***

1. Kalimoldayev M., Shermantayeva Zh. Model Development and Calculations for 35/10 kV Electrical Substations in Turkestan Region Using RastrWin3 Program Scientific Journal of Astana IT University, 2024. DOI: <https://doi.org/10.37943/16DGMZ9449> (14 бет). Докторант – екінші автор, RastrWin3 бағдарламасында қосалқы станция моделін әзірледі, режимдердің есептеулері мен талдауын жүргізді, негізгі мәтінді жазды.

2. Wójcik W., Шермантаева Ж.У., Проблемы развития электроэнергетической отрасли на основе технологии IoT Вестник КазНПУ им. Абая, 2022, Том 78, № 2. DOI: <https://doi.org/10.51889/2022-2.1728-7901.16> (9 бет). Докторант – үшінші автор, энергетикадағы IoT мәселелеріне шолу жүргізді, қауіп-қатерлерді талдады және мақаланың 70 %-ын жазды.

3. Shermantayeva Z., Mamyrbayev O. Development and Creation of Hybrid EWT-LSTM-RELM-IEWT Modeling in High-Voltage Electric Networks News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Physico-Mathematical Series, 2024, Vol. 3, № 351, pp. 223–240. DOI: <https://doi.org/10.32014/2024.2518-1726.302> (18 бет). Докторант – бірінші автор, гибриді болжау моделін құрды және оқытты, эксперименттерді жүргізді және мақаланы жазды.

4. Wójcik W., Shermantayeva Zh. Parallel-Hierarchical Optical Network as a Model of Natural Neural Network Optical Fibers and Their Applications, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.3023432> (6 бет). Докторант – екінші автор, энергетикадағы нейрондық жүйелерге арналған оптикалық желі моделін әзірледі, мәтіннің 65 %-ын жазды.

3. ***Халықаралық конференциялар***

1. Шермантаева Ж. Обзор Интернета вещей (IoT) в электроэнергетике и энергетические системы 3rd Online International Conference on Renewable Energy and Sustainable Technologies, 2022. Жинақ: 97–108 бет. (12 бет). Докторант – жалғыз автор, толық шолу мен мәтінді дайындады.

2. Шермантаева Ж.У., Ахметжанов М.А. Интернет вещей для современных энергетических систем VII Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференция "Информатика и прикладная математика", Алматы, 20–21 қазан

2022. Жинақ: 112–120 бет. (9 бет). Докторант – бірінші автор, энергетикадағы IoT талдауын жүргізді, мәтіннің 85 %-ын жазды.

3. Шермантаева Ж.У. Применение методов анализа и обработки данных на основе IoT для электрической подстанции в Республике Казахстан «Проблемы оптимизации сложных систем», Новосибирск, 14–22 тамыз 2023. Жинақ: 85–92 бет. (8 бет). Докторант – жалғыз автор, деректерді өңдеу әдістерін әзірледі және баяндаманы дайындады.

4. Шермантаева Ж.У., Алшинбаева Д.О. IoT технологиясы негізіндегі трансформатордың таратуын бақылау және ақаулықтарын жою VIII Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференция "Информатика и прикладная математика", Алматы, 2023. Жинақ: 7 бет. Докторант – бірінші автор, трансформаторларды бақылау алгоритмдерін әзірледі, мәтінді жазды.

4. ***Патенттер және зияткерлік меншік туралы куәліктер (3 жұмыс)***

1. Екі машиналық электр энергетикалық жүйенің динамикасын анықтау және визуализациялау бағдарламалар кешені Авторлық куәлік № 34772, 18.04.2023. Докторант – бірлескен автор, алгоритм мен визуализация интерфейсін әзірледі.

2. Energy Monitoring 360 Авторлық куәлік № 49103, 16.08.2024. Авторлар: Шермантаева Жазира Өтегеновна, Мамырбаев Оркен Жумажанович. Докторант – бірінші автор, жүйенің негізгі әзірлеушісі.

3. Интернет заттары негізінде және EWT-LSTM-RELM-IEWT гибриді моделі арқылы электр энергетикалық қосалқы станциялардағы авариялық жағдайларды бақылау және болжау жүйесі Пайдалы модель, Рег. № 2024/1652.2, 25.12.2024. Авторлар: Мамырбаев О.Ж., Шермантаева Ж.У. Докторант – бірлескен автор, идея авторы және модель сипаттамасы.

Докторанттың рөлі: Докторант жергілікті энергожүйелер модельдерін әзірлеуге, IoT-құрылғылар мен қосалқы станцияларды бақылау және басқаруға арналған бағдарламалық қамтамасыз етуді жасауға, жарияланымдар мен патенттік өтінімдерді дайындауға дербес қатысты, бұл оның зерттеулерге белсенді ғылыми үлесін растайды.