Жоба туралы қысқаша ақпарат

Жоба аты	Жасанды интеллект және IIoT технологияларын қолдана отырып, тамақ өңдеу кәсіпорнының цифрлық егізін жасау.
Жоба өзектілігі	Тамақ өнеркәсібі Қазақстан экономикасында маңызды орын алады, тұрақты өсімді және өндіріс мәдениетінің тұрақты дамуын көрсетеді. Сала цифрлық трансформацияға белсенді түрде жылжуда, және бұл жоба қазақстандық кәсіпорындарға осы әлеуетті толық жүзеге асыруға мүмкіндік беретін құрал болуға арналған. Жобаның мақсаты - IIoT инфрақұрылымын, машиналық оқыту әдістерін және 3D визуализацияны бірыңғай интеграцияланған басқарушылық шешімдерді қолдау платформасына біріктіретін Қазақстандағы тамақ өндірісі нысанының толық функционалды цифрлық егізін (DT) құру. Жобаның өзектілігі бірнеше факторлармен анықталады. Әлемдік стандарттарға сәйкестік. Әзірленген платформа Еуропа, Азия және Солтүстік Американдағы жетекші өндірушілер қолданатын 4.0 саласының озық тәжірибелерін жүзеге асырады. Қазақстандық кәсіпорындар нақты сала жағдайларына бейімделген және автоматтандыру мен сапаны басқарудың озық деңгейлеріне жетуге мүмкіндік беретін дайын шешім алады. Цифрландыруға үкіметтің талабы. Жоба «Цифрлық Қазақстан» бағдарламасының басымдықтарына және 5.0 саласы технологияларын нақты экономикада практикалық енгізуді қамтамасыз ететін мемлекеттік индустриялық-инновациялық даму саясатына сәйкес келеді. Ғылыми жаңалық. Гибридті цифрлық деректер архитектурасын қолдана отырып, өндірісті цифрландырудың әзірленген әдіснамасы қазақстандық тамақ өнеркәсібі үшін түпнұсқа ғылыми және техникалық негізді құрайды, ол патенттік өтінімдер мен Web of Science/Scopus басылымдарының 1-3 тоқсандарындағы жарияланымдарда көрініс табады.
Жоба мақсаты	Басқару шешімдерін қолдау үшін Iiot деректерін жинауды, машиналық оқытуды, кестені оңтайландыруды және 3D визуализацияны біріктіретін жұмыс істейтін цифрлық егізді құру.
Жоба міндеттері	1. Технологиялық дайындықтың ағымдағы деңгейін бағалай отырып, кәсіпорынның қажеттіліктерін анықтау үшін өндірістік, технологиялық және бизнес-процестерді автоматтандыру және цифрландыру бойынша маркетингтік және аналитикалық зерттеулер жүргізу.

	2. CAD/CAM технологияларын, модельдеу әдістерін және арық өндіріс принциптерін ескере отырып, процестерді оңтайландыруды қолдана отырып, кәсіпорынның цифрлық егізін жобалау. 3. Кәсіпорындағы әртүрлі параметрлерді бақылау, деректердің қауіпсіздігі мен құпиялылығын қамтамасыз ету үшін сенсорларды, iiot құрылғыларын және басқа деректер көздерін қоса алғанда, деректерді жинау және сақтау жүйесін әзірлеу. 4. Үлгілерді, ауытқуларды анықтау, процестерді оңтайландыру және кәсіпорындағы болашақ оқиғаларды болжау үшін цифрлық егіздердің киберфизикалық жүйесі мен машиналық оқыту әдістері үшін үлкен деректерді талдау алгоритмдерін әзірлеу. 5. Өндірістік объектілерді үш өлшемді модельдеу жүйесін, өндірісті оңтайландырудың математикалық модельдерін және iiot негізіндегі киберфизикалық жүйені процестерді автоматтандыру және оңтайландыру үшін қолданыстағы кәсіпорынды басқару жүйелерімен біріктіру. 6. Сандық егізден алынған ақпарат негізінде деректерді визуализациялау, талдау және басқару шешімдерін қабылдау үшін ыңғайлы пайдаланушы интерфейсін құру. 7. Кәсіпорынның цифрлық егізін нақты деректер мен пайдалану сценарийлерінде тестілеу және валидациялау бойынша тәжірибелік-эксперименттік жұмыстар жүргізу. 8. Білім беру және ғылыми зерттеулерді қолдау, жасанды интеллект пен iiot технологияларын пайдалана отырып, өндірісті модельдеу үшін оқыту стендтерін құру, цифрлық дубльдің шешім қабылдауды қолдау жүйесімен адам-машиналық өзара әрекеттесуінің виртуалды ортасын әзірлеу.
Күтілетін және қол жеткізілген нәтижелер	**1. Күтілетін нәтиже:** Кәсіпорынның қажеттіліктерін анықтау және технологиялық дайындықтың ағымдағы деңгейін бағалау мақсатында өндірістік, технологиялық және бизнес-процестерді автоматтандыру мен цифрландыруға маркетингтік және аналитикалық зерттеулер жүргізу. **Нәтиже:** 2024 жылдың тамыз-желтоқсан айлары аралығында тамақ өнеркәсібіндегі автоматтандыру және цифрландыру саласындағы ағымдағы технологияларға кешенді талдау жүргізілді. RG Brands компаниясының мысалында жабдықтар мен бағдарламалық қамтамасыз етуге инвентаризация жасалып, олардың өнімділігі бағаланды және тар жерлер анықталды.

	Қызметкерлермен сұхбаттасу және сауалнама жүргізу негізінде кәсіпорынның негізгі қажеттіліктері анықталды, олардың ішінде жабдықтарды біріктіру деңгейін арттыру және нақты уақыт режимінде деректерді бақылау мен талдау жүйелерін енгізу ерекше атап өтілді. Ұсыныстар ескірген жабдықтарды жаңғыртуды, Track and Trace жүйесін енгізуді және өндірістік процестерді оңтайландырып, тиімділікті арттыру үшін орталықтандырылған платформа құруды қамтиды. **1.1 Күтілетін нәтиже:** Автоматтандыру және цифрландыру нарығын талдау, тамақ өнеркәсібіндегі ағымдағы үрдістер мен технологияларды зерттеу. **Нәтиже:** Тамақ өнеркәсібінде IoT технологиялары өнімдердің сапасы мен қауіпсіздігіне мониторингті қамтамасыз ете отырып, әртүрлі датчиктер мен жабдықтардан деректерді жинауға көмектеседі. Температура, ылғалдылық және pH деңгейінің датчиктері нақты уақыт режимінде өнімді өндіру және сақтау шарттарын бақылайды. Жоғары жылдамдықты желілер деректерді беру жылдамдығын арттыруға ықпал етеді, бұл нақты уақыт режимінде өндірістік процестерді бақылау және болжау үшін IoT мен машиналық оқыту жүйелерін енгізу кезінде өте маңызды. Икемді өндірістік желілер: Сұраныстың өзгеруіне және маусымдық ауытқуларға жауап бере отырып, әртүрлі өнімдерді шығаруға жедел қайта құрыла алатын автоматтандырылған өндірістік желілер. Автоматтандырылған талдау және деректерді жинау: IoT және мониторинг жүйелерінің арқасында компаниялар өлшеу дәлдігін және стандарттардан ауытқуларға уақтылы әрекет етуді қамтамасыз ете отырып, қауіпсіздікті бақылауды автоматтандыра алады. Логистикалық процестерді оңтайландыру: GPS және қадағалау технологияларын пайдалану тауарлардың қозғалысын бақылауға, кідірістерді азайтуға және жеткізу уақытын дәлірек болжауға мүмкіндік береді. Қазіргі заманғы тамақ өнеркәсібі толық цифрландыру және автоматтандыру бағытында дамып келеді, бұл өнім сапасын арттыру, шығындарды азайту және экологиялық көрсеткіштерді жақсарту үшін жаңа мүмкіндіктер ашады. IoT, жасанды интеллект, роботтандыру және тұрақты шешімдер технологияларын енгізу өндірістік процестерді оңтайландыруға, бәсекеге қабілеттілікті арттыруға және тұтынушылар мен реттеушілердің сұраныстарына жауап беруге көмектеседі. **1.2 Күтілетін нәтиже:** Қазақстанның тамақ өнеркәсібі кәсіпорнындағы автоматтандырудың ағымдағы деңгейін бағалау. **Нәтиже:** RG Brands кәсіпорнындағы автоматтандырудың ағымдағы

	деңгейін талдау барысында пайдаланылатын жабдықтар мен бағдарламалық қамтамасыз етуге инвентаризация жүргізілді. Қазіргі уақытта компанияның өндірістік желілері өндірістің негізгі кезеңдерін басқаруды қамтамасыз ететін мониторинг және бақылау жүйелерімен жабдықталған. Орнатылған жабдық өндірістік процестердің негізгі параметрлерін бақылауға мүмкіндік береді, алайда барлық жүйелерді бірыңғай цифрлық платформаға толыққанды біріктіру үшін қосымша шешімдер қажет. Қолданыстағы бағдарламалық қамтамасыз ету жекелеген модульдер жиынтығынан тұрады, бұл нақты уақыт режимінде жедел талдау және басқару үшін деректерді біріктіруді қиындатады. Желіде орнатылған датчиктер өндірістік процестердің параметрлері туралы ақпарат жинауды қамтамасыз етеді. Ағымдағы автоматтандыру жүйесінде анықталған ерекшеліктер деректерді талдаудың тиімділігі мен жеделдігін арттыру үшін инфрақұрылымды жаңғырту қажеттілігін көрсетеді, бұл басқару өнімділігін арттырудағы маңызды қадам болмақ. **1.3. Күтілетін нәтиже:** ҚР тамақ өнеркәсібі кәсіпорнында пайдаланылатын жабдықтар мен БҚ инвентаризациясы бойынша есептерді талдау. **Нәтиже:** Осы іс-шараны орындау аясында кәсіпорыннан (Нан зауыты) пайдаланылатын технологиялық жабдықтар мен бағдарламалық қамтамасыз етуді түгендеу бойынша есептер (немесе тізімдер) сұралып, алынды. Ұсынылған құжаттамаға келесі мақсатпен жүйелі талдау жүргізілді: Жабдықтар тізімін верификациялау және нақтылау: Өндірістік процеске жұмылдырылған және кейіннен 3D және имитациялық модельдерге қосылған негізгі технологиялық жабдықтардың (ARYSTAN, Escher қамыр илегіштері, MIWE, WACHTEL пештері, Koenig қамыр бөлгіші және т.б.) бар екендігі расталды және модельдері мен базалық сипаттамалары (есептерден мүмкін болған жерде) нақтыланды. Жабдықтарды автоматтандыру және цифрландыру деңгейін бағалау: Түгендеу деректерін талдау өндірістік жабдықтардың көпшілігінде кіріктірілген автоматтандыру жүйелерінің (ПЛК), цифрлық шығысы бар датчиктердің және желілік интерфейстердің жоқтығын немесе өте шектеулі қолданылатынын растады. Бұл нақты уақыт режимінде деректерді жинауға технологиялық дайындықтың бастапқы деңгейінің төмендігін көрсетеді. Қолданылатын бағдарламалық қамтамасыз етуді талдау: БҚ тізімін зерделеу негізінен стандартты кеңселік бағдарламалық қамтамасыз етудің және мүмкін базалық бухгалтерлік бағдарламалардың

	пайдаланылатынын көрсетті. Ұсынылған есептерде кәсіпорында мамандандырылған өндірісті басқару жүйелерінің (MES), диспетчерлік басқару және деректерді жинау жүйелерінің (SCADA) немесе өндірістік процестермен біріктірілген кешенді ERP-жүйелерінің бар екендігі туралы ақпарат табылмады. Осы талдаудың нәтижелері пилоттық кәсіпорынның ағымдағы технологиялық ландшафтын объективті бағалауға, процестерді модельдеу және сарапшылық деректер (жабдықтан келетін деректер ағыны негізінде емес) негізінде цифрлық егіз құру қажеттілігін растауға, сондай-ақ бірінші кезекте модельдеуге және визуализациялауға жататын жабдықтардың базалық номенклатурасын анықтауға мүмкіндік берді. Сонымен қатар, талдау деректерді жинауға арналған дайын инфрақұрылымның жоқтығын айқын көрсетті, бұл жоба аясында IIoT шешімдерін (сенсорлар, деректерді жинау жүйелері) енгізу бойынша одан әрі қадамдар жасау қажеттілігін негіздейді. **1.4. Күтілетін нәтиже:** Қызметкерлермен сұхбаттасу және сауалнама жүргізу арқылы кәсіпорынның қажеттіліктерін анықтау. **Нәтиже:** Сусындар өндіретін зауыт қызметкерлеріне сауалнама жүргізу нәтижесінде бірнеше маңызды аспектілер анықталды. Сауалнамаға қатысқандардың көпшілігі өндірістік желілер, әсіресе жақында жаңартылғандары, автоматтандырудың жоғары деңгейіне және адамның араласуына қойылатын минималды талапқа байланысты тиімді жұмыс істейтінін атап өтті. Алайда ескі желілер үшін қызметкерлер контроллерлерге қатысты шектеуді көрсетті: бұл контроллерлердің прошивкасы мен бағдарламалық жасақтамасы модификациядан қорғалған, бұл жаңартуларды жүргізуге немесе қосымша бағдарламаларды жүктеуге мүмкіндік бермейді. Бұл, жұмысшылардың пікірінше, жабдықты жаңғырту мүмкіндігін шектейді. Сонымен қатар, қызметкерлер зауыттың кейбір аймақтарында еденге жабысқақ сұйықтықтың жиналу проблемасына назар аударды. Еденнің құрылымдық кемшілігіне байланысты сұйықтық ағып кетпейді, бұл тазалау кезінде қиындықтар туғызады және сырғып кету қаупін арттырады. Жұмысшылар бұл мәселені шешу жұмыс орындарындағы ыңғайлылық пен қауіпсіздікті арттыратынын атап өтті. **2. Күтілетін нәтиже:** CAD/CAM технологияларын, имитациялық модельдеу әдістерін және үнемді өндіріс қағидаттарын ескере отырып, процестерді оңтайландыруды қолдана отырып, кәсіпорынның цифрлық егізін жобалау. **Нәтиже:** 2024 жылдың

	тамыз-желтоқсан айларында CAD/CAM технологияларын және имитациялық модельдеу әдістерін пайдалана отырып, RG Brands кәсіпорны үшін цифрлық егіз жасау бойынша дайындық жұмыстары басталды. Жобалаудың осы кезеңінде цифрлық егіз архитектурасының негізі әзірленді, бұл негізгі өндірістік процестерді оларды талдау және оңтайландыру үшін біріктіруге мүмкіндік береді. Цифрлық ортада визуализация мен дәл бақылауды қамтамасыз ететін өндірістік жабдықтар мен инфрақұрылымның 3D-модельдері жасалды. Бұл қадамдар үнемді өндіріс қағидаттарын енгізуге және кәсіпорынның жалпы тиімділігін арттыруға бағытталған. **2.1. Күтілетін нәтиже:** Цифрлық егіз архитектурасын әзірлеу. Өндірістік жабдықтар мен инфрақұрылымның 3D модельдерін жасау. **Нәтиже:** Осы тармақша бойынша іс-шараларды іс жүзінде орындау аясында оның негізгі компоненттерін (Tecnomatix Plant Simulation базасындағы имитациялық модель, Mendix-тегі пайдаланушы интерфейсі, деректер көздері, ақпараттық ағындар) айқындайтын болашақ цифрлық егіздің тұжырымдамалық архитектурасы әзірленді. Осы кезеңдегі жұмыстардың негізгі көлемі пилоттық кәсіпорында қолданылатын негізгі технологиялық жабдықтың егжей-тегжейлі үшөлшемді (3D) модельдерін жасауға шоғырланды. Siemens NX АЖЖ және Blender 3D-модельдеу БҚ-ны қолдана отырып, келесі жабдықтардың цифрлық 3D-көріністері әзірленді: ARYSTAN H100 SPIRAL MIXER спиральды қамыр илегіші. Escher MR 160 PROF спиральды қамыр илегіші (домалатпалы дежасымен). MIWE roll-in e+ FP (RI 1.0608-TL) ротациялық пеші. WACHTEL AEROMAT соңғы расстойка шкафы. Koenig mini rex multi қамыр бөлгіш-жұмырлағышы. Бұл 3D модельдер нақты жабдық бірліктерінің габариттері мен сыртқы түрін дәл көрсетеді. Қосымша өндірістік цех инфрақұрылымының негізгі элементтері модельденді. Жасалған 3D модельдер Siemens Tecnomatix Plant Simulation имитациялық ортасына біріктірілді және өндірістік ортаны, жабдықтарды және жүріп жатқан технологиялық процестерді адекватты визуализациялау үшін негіз болып табылады, бұл әзірленіп жатқан цифрлық егіздің ажырамас визуалды құрамдас бөлігі болып табылады. **2.2. Күтілетін нәтиже:** Цифрлық ортада модельдерді визуализациялау және талдау. **Нәтиже:** Цифрлық ортада әзірленген модельдерді визуализациялау және бастапқы талдау жүзеге асырылды. Алдыңғы кезеңде жасалған негізгі технологиялық жабдықтардың

	(ARYSTAN H100, Escher MR 160, MIWE roll-in e+, WACHTEL AEROMAT, Koenig mini rex multi) және инфрақұрылым элементтерінің егжей-тегжейлі 3D модельдері Siemens Tecnomatix Plant Simulation имитациялық модельдеу ортасына біріктірілді. Пилоттық кәсіпорынның өндірістік цехының нақты жоспарлауына сәйкес виртуалды кеңістікте 3D объектілерін позициялау орындалды. Жабдық модельдері арасындағы логикалық байланыстарды (коннекторларды) пайдалана отырып, технологиялық ағындарды бапталған визуализациялау өндірістік желі бойынша операциялар тізбегін және материалдардың (қамыр, дайын бұйымдар) қозғалысын көрнекі түрде көрсетуге мүмкіндік берді. Параллельно имитациялық модельдің құрылымы мен логикасына талдау жүргізілді: салынған операциялар тізбегінің дұрыстығы (илеу, қалыптау, расстойка, пісіру, суыту, қаптау), жабдықтың базалық параметрлерінің (цикл уақыты, өнімділік) технологиялық деректерге сәйкестігі тексерілді, сондай-ақ оның жұмысқа қабілеттілігін және ағындардың базалық логикасында қателердің жоқтығын растау үшін модельдің алдын ала тестілік прогондары орындалды. Визуализациялау және талдау бойынша бұл іс-шаралар толыққанды симуляциялық эксперименттер жүргізер алдында құрылған модельдің адекваттылығы мен дұрыстығын тексеруді қамтамасыз етті. **2.3. Күтілетін нәтиже:** Кәсіпорын жұмысын түрлі сценарийлерде симуляциялау. **Нәтиже:** Siemens Tecnomatix Plant Simulation ортасында пилоттық кәсіпорынның (Нан зауыты) технологиялық процесінің дискретті-оқиғалы имитациялық моделі әзірленді, реттелді және параметризацияланды. Модель операциялар тізбегін (тапсырыс қабылдау, граммовканы есептеу, илеу, қалыптау, расстойка, пісіру, суыту, қаптау), негізгі ресурстарды (персонал, жабдық) пайдалануды және материалдық ағындар логикасын дәл көрсетеді. Осы модель негізінде жүйенің өнімділігін талдау және жабдықтың әртүрлі конфигурацияларындағы тар жерлерді анықтау үшін бірқатар симуляциялық эксперименттер жүргізілді. Кәсіпорынның бір тәулік ішіндегі жұмысының келесі сценарийлері модельденді және тиісті өндіру көрсеткіштері (дайын өнім данамен) алынды: Базалық сценарий («Қалай бар солай»): 14 280 дана. Қалыптау аппаратының бұзылуын имитациялаумен (Molding): 14 042 дана (төмендеу ~1.7%). Екінші қалыптау аппаратын қосумен (Molding x2): 14 280 дана (өзгеріссіз). Екінші расстойка шкафын қосумен (Proofing x2): 25 704 дана (өсу ~80%). Үшінші расстойка шкафын қосумен (Proofing x3): 25 704 дана (Proofing x2-мен салыстырғанда өзгеріссіз). Екінші

	пешті және үшінші расстойка шкафын қосумен (Baking x2, Proofing x3): 25 704 дана (Proofing x2-мен салыстырғанда өзгеріссіз). Екінші пешті, үшінші расстойка шкафын қосумен және суыту қуаттарын ұлғайтумен (Baking x2, Proofing x3, Cooling x6): 29 750 дана (базадан ~108%-ға және екі Proofing бар сценарийден ~15.7%-ға өсу). Бұл нәтижелерді талдау өндірістік жүйенің негізгі тар жерлерін дәл анықтауға мүмкіндік берді. Ағымдағы конфигурацияда қалыптау аппараты шектеуші фактор болып табылмайтыны анықталды. Өнімділіктің негізгі шектеуі расстойка (Proofing) учаскесі болып табылады, оның қуатын арттыру өндірудің максималды бастапқы өсімін береді. Расстойка учаскесін кеңейткеннен кейін келесі тар жер пісіру (Baking) учаскесі, ал содан кейін – суыту (Cooling) учаскесі болады. Осылайша, симуляциялар сәтті жүргізілді және оңтайландыру бойынша күш-жігер жұмсаудың негізгі нүктелерін анықтайтын сандық деректер алынды. **2.4. Күтілетін нәтиже:** Симуляция нәтижелері негізінде процестерді оңтайландыру. **Нәтиже:** Симуляциялық эксперименттердің егжей-тегжейлі нәтижелері және тар жерлердің анықталған сандық көрсеткіштері негізінде процестерді оңтайландыру жұмыстары басталды. Өндірістік процестерді жақсарту бойынша әлеуетті іс-шараларға бастапқы талдау жүргізілді. Атап айтқанда: Оңтайландырудың басымдығы анықталды: Симуляция деректері (өндірудің 14 280-нен 25 704 данаға дейін өсуі) негізінде жалпы өнімділікті арттырудың ең тиімді шарасы ретінде расстойка учаскесін кеңейтудің бірінші кезектегі қажеттілігі расталды. Жақсартулар тізбегі талданды: Екінші пешті қосудың тиімділігі қаралды. Симуляция нәтижелері (Proofing x2 кезіндегі 25 704 данамен салыстырғанда Baking x2, Proofing x3 кезінде 25 704 дана) екінші пешке инвестиция салу расстойка учаскесіндегі тар жерді жойғаннан кейін ғана орынды екенін көрсетті. Кешенді тәсілдің қажеттілігі бағаланды: Максималды өндіру сценарийін талдау (Baking x2, Proofing x3, Cooling x6 кезінде 29 750 дана) максималды өнімділікке қол жеткізу үшін бірнеше учаскелерді (расстойка, пісіру, суыту) бір уақытта немесе тізбектей кеңейту қажеттігін көрсетті. Бастапқы ұсыныстар қалыптастырылды: Модельдеу деректері негізінде ағымдағы конфигурацияда екінші қалыптау аппаратын қосудың орынсыздығы және қосымша расстойка шкафына инвестиция салудың жоғары тиімділігі туралы алдын ала қорытындылар дайындалды. Модельдеу нәтижелеріне талдау жасалды және симуляция деректеріне негізделген, анықталған және сандық бағаланған тар жерлерді

	тізбектей жоюға бағытталған өндірістік процестерді оңтайландыру бойынша бастапқы ұсыныстар мен ұсынымдар тұжырымдалды. **2.5. Күтілетін нәтиже:** Үнемді өндіріс қағидаттарын біріктіру. **Нәтиже:** «Жасанды интеллект және IIoT технологияларын қолдана отырып, тамақ өңдеу кәсіпорнының цифрлық егізін жасау» жобасы аясында біз үнемді өндіріс (Lean) қағидаттарын біріктіруді жүзеге асырдық. Енгізудің негізгі кезеңдері іске асырылды: ағымдағы жағдайды талдау, цифрлық егіздегі процестерді модельдеу, Lean-құралдарын қолдану (5S, VSM, Just-In-Time), командаңы оқыту, стандарттау және ИИ мен IIoT көмегімен үздіксіз жақсарту механизмін іске қосу. Бұл өндіріс тиімділігін арттыруға, шығындарды азайтуға және өнім сапасын жақсартуға мүмкіндік берді. **3. Күтілетін нәтиже:** Кәсіпорындағы әртүрлі параметрлерді бақылау үшін датчиктерді, IIoT құрылғыларын және басқа да дереккөздерді қоса алғанда, деректерді жинау және сақтау жүйесін әзірлеу, деректердің қауіпсіздігі мен құпиялылығын қамтамасыз ету. **Нәтиже:** Деректерді жинау және сақтау жүйесін әзірлеу «Дала» СА4-Э720 R есептегіштері, ESP32 микроконтроллерлері және Raspberry Pi 5 сервері негізіндегі IIoT-инфрақұрылым арқылы жүзеге асырылды. Деректер қорғалған MQTT-протоколы арқылы беріледі және тұтастықты қамтамасыз ету үшін сақтау саясаттарын, AES-256 шифрлауын және блокчейн-журнал жүргізуді қолдана отырып InfluxDB деректер базасында сақталады. Жүйе 24 сағаттық тестілеуден деректерді жоғалтпай сәтті өтті, бұл кернеу мен токтан бастап белсенді энергияға дейінгі негізгі параметрлерді 10 секундқа дейінгі жиілікпен дәл және тұрақты бақылауды қамтамасыз етті. **3.1. Күтілетін нәтиже:** Деректерді жинау жүйесіне қойылатын талаптарды анықтау. **Нәтиже:** Осы кезең аясында пилоттық кәсіпорындағы (Нан зауыты) қызметкерлердің қозғалысы туралы нақты уақыт режимінде деректерді жинау жүйесіне қойылатын негізгі талаптар анықталып, тұжырымдалды. Мұндай жүйені енгізу қажеттілігі алдыңғы кезеңдердің нәтижелерімен (инвентаризациялық есептерді талдау, имитациялық модельдеу) негізделген, олар персоналдың нақты қозғалысы, операцияларды қолмен орындау уақыты және жабдықпен өзара әрекеттесу туралы объективті деректердің жоқтығын анықтады, бұл имитациялық модельді верификациялау, тар жерлерді терең талдау және өндірістік процестерді оңтайландыру үшін өте маңызды. Нақты уақыт режимінде адамдардың

	орналасқан жерін жоғары дәлдікпен анықтау қажеттілігіне байланысты базалық технология ретінде Ultra-Wideband (UWB) таңдалды. UWB технологиясы позициялаудың сантиметрлік дәлдігін және жоғары кедергіге төзімділікті қамтамасыз етеді. Деректерді жинау жүйесінің келесі архитектурасы мен жұмыс принципі анықталды: Носимые Метки (Tags): Қызметкерлер UWB-белгілермен жабдықталады. Белгілер мезгіл-мезгіл қысқа UWB-сигналдарын шығарады. Стационарные Анкеры (Anchors): Өндірістік үй-жайларда стационарлық UWB-анкерлер желісі орналастырылады. Анкерлер белгілерден сигналдар қабылдайды. Инфраструктура: Анкерлер кәсіпорынның жергілікті желісіне (LAN) қосылады. Сервер Позиционирования (Location Engine): Сигналдардың келу уақыты (ToA) туралы деректер серверге беріледі. Серверде арнайы БҚ әрбір белгінің координаттарын есептейді. Сбор и Хранение Данных: Есептелген координаттар уақыт белгісімен және қызметкердің идентификаторымен бірге деректер базасында сақталады. Жүйеге қойылатын негізгі талаптар тұжырымдалды. **3.2. Күтілетін нәтиже:** Датчиктер мен IIoT құрылғыларын біріктіру бойынша тәжірибелік жұмыстар жүргізу. **Нәтиже:** UART интерфейсі (RX-TX, TX-RX, VCC-VIN, GND-GND) арқылы қосылу және деректерді оқу үшін тиісті бағдарламалық жасақтаманы әзірлеу арқылы HLK-LD2410C қатысу және қашықтықты анықтау радарлық датчигін ESP32 микроконтроллерімен сәтті біріктіру жүзеге асырылды. Интеграция мен сенсор жұмысының дұрыстығы Serial Monitor арқылы деректерді шығаруды бақылау (мақсат түрі, қашықтық, сигнал энергиясы) және Bluetooth арқылы ESP32-ге қосылған HLKRadarTool мобильді қосымшасы (қашықтықты, мақсат мәртебесін визуализациялау, сезімталдықты реттеу) арқылы тексерілді. Эксперименттер датчиктің тұрақты жұмыс істеуін, мақсат түрін (стационарлық/қозғалыстағы) дұрыс анықтауды және рұқсат етілген қателікпен қашықтықты өлшеуді растады. **3.3. Күтілетін нәтиже:** Деректерді сақтау инфрақұрылымын әзірлеу. **Нәтиже:** Конвейер жұмысының негізгі параметрлері үшін өлшемдердің оңтайландырылған құрылымы бар арнайы bucket және деректерді тиімді сүзуге арналған тегтеу жүйесі құрылды. Қысқа мерзімді және ұзақ мерзімді талдау үшін сақтаудың екі деңгейлі саясаты конфигурацияланды, кіру токендеріне негізделген қауіпсіздік жүйесі енгізілді. Ақпан айында өнімділікті оңтайландыру жүргізілді, бұл секундына 1000

	деректер нүктесіне дейін өңдеуді қамтамасыз етті және аналитикалық сұрауларды орындау уақытын 40%-ға қысқартты. Жүйе жоғары тұрақтылықты және масштабтауға дайындықты көрсетеді. **4. Күтілетін нәтиже:** Цифрлық егіздің киберфизикалық жүйесіне арналған үлкен деректерді талдау алгоритмдерін және кәсіпорындағы паттерндерді, аномалияларды анықтау, процестерді оңтайландыру және болашақ оқиғаларды болжау үшін машиналық оқыту әдістерін әзірлеу. **Нәтиже:** Цифрлық егіз деректерін талдау алгоритмдерін әзірлеу кезінде IIoT-датчиктерден алынған қуат тұтынудың уақыттық қатарларын талдауға арналған машиналық оқыту алгоритмдерінің кешені іске асырылды. ESP32_Dala_Meter_006411 пеш есептегішінің деректері негізінде бірін-бірі толықтыратын үш модель әзірленді: аномалияларды детекциялау үшін Isolation Forest, жабдықтың операциялық режимдерін кластерлеу үшін DBSCAN және 72 сағат алға қуат тұтынуды болжау үшін SARIMA. Модельдер нақты деректерде валидациядан өтті: аномалиялар алгоритмі 7 статистикалық маңызды оқиғаны анықтады, кластерлеу жұмыстың төрт интерпретацияланатын режимін («өшірулі», «белсенді жұмыс», «бос тұру», «температураны ұстап тұру») бөліп көрсетуге мүмкіндік берді, ал болжамдық модель орташа абсолютті 672 Вт қатені көрсетті. Алынған нәтижелер қуат тұтынуды оңтайландыру, техникалық қызмет көрсетуді жоспарлау және өндірістік қуаттарды тактикалық басқару бойынша практикалық ұсынымдардың негізі болды. **4.1. Күтілетін нәтиже:** Деректерді жинау және дайындау. **Нәтиже:** Осы кезең аясында пилоттық кәсіпорында орналастырылған IIoT-инфрақұрылымынан қуат тұтынудың уақыттық қатарларын жүйелі түрде жинау ұйымдастырылды. Деректердің негізгі көзі ротациялық пешке қосылған және Raspberry Pi 5 базасындағы деректер серверімен ESP32 микроконтроллері арқылы біріктірілген «Дала» СА4-Э720 R үш фазалы есептегіші болды. Көрсеткіштер қорғалған MQTT-арнасы бойынша әр 10 секунд сайын бір өлшем жиілігімен түсіп, InfluxDB деректер базасына жазылды. Жиналған массив ұзақтығы 24 сағаттан асатын үздіксіз жұмыс кезеңін қамтыды және шамамен 8 600 жазбаны құрады. Деректерді дайындау барысында қайталанатын уақыт белгілерінен және нөлдік мәндерден тазарту жүргізілді. Уақыттық қатарды 10 секундтық қадаммен біркелкі торға нормализациялау орындалды. Кейінгі талдау үшін туынды белгілер есептелді. Қосымша

	оператор журналдары негізінде уақыттық қатарды технологиялық ауысымдар мен жұмыс циклдері бойынша белгілеу жүргізілді. **4.2. Күтілетін нәтиже:** Машиналық оқыту алгоритмдерін әзірлеу. **Нәтиже:** Пештің қуат тұтыну деректерінің дайындалған жинағында бір-бірін толықтыратын үш машиналық оқыту моделі әзірленді. Бірінші модель — Isolation Forest алгоритміне негізделген аномалия детекторы. Оқытылған модель тесттік деректер жинағында 7 статистикалық маңызды аномальді эпизодты анықтады. Екінші модель — DBSCAN әдісімен операциялық режимдерді кластерлеу. Нәтижесінде төрт интерпретацияланатын кластер бөлінді («өшірулі», «белсенді жұмыс», «бос тұру» және «температураны ұстап тұру»). Үшінші модель — SARIMA алгоритмі негізінде қуат тұтынуды болжау. Оқытылған SARIMA-модель белсенді қуат мәндерін 72 сағатқа дейін алға болжайды. Барлық үш модель Python тілінде іске асырылды. **4.3. Күтілетін нәтиже:** Модельдерді, әртүрлі сценарийлерді валидациялау және тестілеу. **Нәтиже:** Барлық үш әзірленген модельге кешенді валидация жүргізілді. Isolation Forest моделі анықталған аномалды эпизодтарды оператор журналдарымен және мониторинг жүйесінің жазбаларымен салыстыру арқылы валидацияланды. 7 табылған аномалияның 5-уі нақты оқиғалар ретінде расталды. DBSCAN кластерлеуі бөлінген кластерлердің нақты технологиялық режимдерге сәйкестігін талдау арқылы валидацияланды. SARIMA болжамдық моделі сырғымалы валидация (rolling forecast) әдісімен тестіленді. Тесттік іріктеудегі орташа абсолютті қате (MAE) 672 Вт құрады. **4.4. Күтілетін нәтиже:** Паттерндерді талдау және анықтау, аномалияларды табу. **Нәтиже:** Валидацияланған модельдердің нәтижелері негізінде ESP32_Dala_Meter_006411 пешінің қуат тұтыну деректеріне тереңдетілген талдау жүргізілді. DBSCAN кластерлеуін қолдана отырып, уақыттық қатарларды талдау ротациялық пеш жұмысының типтік тәуліктік циклін орнатуға мүмкіндік берді. Ауысымдар арасында «температураны ұстап тұрудың» тұрақты паттерні байқалады. Isolation Forest аномалиялар детекторы бірнеше тән аномалды оқиғалар түрлерін анықтады (мысалы, қуат тұтынудың күрт секірулері, созылған өтпелі процестер, қуат тұтынудың төмендеуі). Аномалиялар негізінен ауысым басталғаннан кейінгі алғашқы 20

	минутта және аяқталар алдындағы соңғы сағатта топтасады. **4.5. Күтілетін нәтиже:** Өндірістік процестерді оңтайландыру және болашақ оқиғаларды болжау. **Нәтиже:** Соңғы кезеңде барлық үш модельдің нәтижелері өндірістік процестерді оңтайландыру және болжамдар қалыптастыру бойынша ұсынымдар жүйесіне біріктірілді. Қуат тұтынуды оңтайландыру саласында түнгі уақытта пешті толық өшіруге көшу ұсынылды (бұл пештің тәуліктік қуат тұтынуын шамамен 12%-ға үнемдеуді қамтамасыз ете алады). Техникалық қызмет көрсетуді жоспарлау саласында аномалияларды детекциялау нәтижелері ерте ескерту индикаторларына түрлендірілді. SARIMA болжамдық моделі Grafana дашбордына біріктірілді, онда алдағы 72 сағатқа болжамды қуат тұтыну мәндері көрсетіледі. **5. Күтілетін нәтиже:** Өндірістік объектілерді үшөлшемді модельдеу жүйесін, өндірісті оңтайландырудың математикалық модельдерін және IIoT негізіндегі киберфизикалық жүйені процестерді автоматтандыру және оңтайландыру үшін қолданыстағы кәсіпорынды басқару жүйелерімен біріктіру. **Нәтиже:** Өнеркәсіптік жабдықтың үшөлшемді модельдері мен IIoT базасындағы киберфизикалық жүйені біріктіру үшін Unity-дегі 3D-визуализацияны, Grafana-дағы аналитикалық дашбордтарды және InfluxDB деректерін біріктіретін бірыңғай цифрлық орта құрылды. CP-SAT негізінде іске асырылған расписаниелерді оңтайландырудың математикалық моделі технологиялық шектеулерді ескере отырып гибридті ағындық желі есебі ретінде формализацияланды. 1С жүйесімен және «Мобильді көмекші» қосымшасымен интеграциялау тапсырыстан өндіріске дейінгі толық құжат айналымын қамтамасыз етті. Тестілеу барлық компоненттердің нақты жағдайларда дұрыс жұмыс істейтінін растады. **5.1. Күтілетін нәтиже:** Қолданыстағы басқару жүйелерін талдау. **Нәтиже:** Кезең аясында цифрлық жетілу деңгейін бағалау және функционалдық алшақтықтарды анықтау үшін CMMI әдіснамасы бойынша кәсіпорынның ақпараттық инфрақұрылымына кешенді талдау жүргізілді. АТ-шешімдерді салыстырмалы түрде талдау негізінде цифрлық егіздің икемді модульдік архитектурасын таңдау негізделді. Талдау барысында интеграция үшін негізгі элементтер анықталды: бар энергомониторингтің IIoT-инфрақұрылымы және 1С:Кәсіпорын платформасындағы қойманы басқарудың базалық жүйесі. Деректерді қолмен

	енгізуден болатын шығындарды жою үшін веб-сервистер арқылы шикізатқа қажеттілікті есептеу модулін 1С қоймалық базасымен автоматты түрде біріктіру жобаланды. **5.2. Күтілетін нәтиже:** Өнеркәсіптік объектілердің 3D модельдерін біріктіру. **Нәтиже:** Осы кезең аясында аналитикалық мониторинг панельдерін өндірістік жабдықтың интерактивті үшөлшемді модельдерімен үздіксіз біріктіретін бірыңғай цифрлық орта сәтті құрылды. Іске асыру үшін ашық технологиялық стек таңдалды (InfluxDB, Grafana, Unity). Жоғары дәлдіктегі 3D-модельдер Blender бағдарламалық кешенінде нақты техникалық сызбалар негізінде жасалды. Жүйелерді біріктіру құрастырылған WebGL-қосымшаны Grafana интерфейсіне енгізу арқылы жүзеге асырылды: виртуалды 3D-модель нақты уақыт режимінде тиісті агрегаттарда өзекті телеметрияны көрсетеді. Бұл тәсіл операторларға цехтың цифрлық көшірмесінде өндірістік мәселелерді лезде және визуалды түрде локализациялауға мүмкіндік береді. **5.3. Күтілетін нәтиже:** Оңтайландырудың математикалық модельдерін әзірлеу. **Нәтиже:** Имитациялық модельдеу нәтижелері негізінде өндірістік расписаниелерді оңтайландырудың математикалық моделі әзірленді (Hybrid Flow Shop Problem). Есепті шешу үшін Google OR-Tools кітапханасынан CP-SAT солверін пайдалана отырып, шектеулерде бағдарламалау әдісі қолданылды. Python тіліндегі Schedule Planner жүйесінде іске асырылған алгоритмді нақты тапсырыстарда тестілеу оның базалық FIFO жоспарлау әдісімен салыстырғанда жоғары тиімділігін растады. Оңтайландыру өндірістік циклдің жалпы уақытын 24,4%-ға қысқартты және орташа межоперациялық күтуді 51,2%-ға азайтты. Алгоритм пештердің пиктік жүктемесін 92%-дан 78%-ға дейін төмендетіп, ағынды сәтті теңестірді және технологиялық шектеулердің бұзылуын толығымен жойды. Әзірленген оңтайландырғыш MES-жүйелерімен интеграциялауға дайын. **5.4. Күтілетін нәтиже:** Киберфизикалық жүйені біріктіру және тестілеу. **Нәтиже:** Осы кезең аясында киберфизикалық жүйенің аппараттық-бағдарламалық кешенін нақты өндірістік жағдайларда толық ауқымды орналастыру және интеграциялау жүзеге асырылды. Негізгі технологиялық жабдықтарда 19 біріздендірілген энергомониторинг модулінің (ESP32 негізінде), сондай-ақ бірыңғай өлшеу желісіне біріктірілген климаттық бақылаудың 5 өнеркәсіптік датчигінің физикалық монтажы жүргізілді. Деректерді агрегациялаудың орталық торабы ретінде

	Raspberry Pi базасындағы Edge-шлюз әрекет етті. Тестілеу нәтижелері ең жоғары ақауларға төзімділікті растады: қолжетімділік көрсеткіші 99,97% құрады, деректерді берудің орташа кідірісі 1,5 секундтан аспады. Жүйе толықтай өнеркәсіптік пайдалануға дайын екенін растады. **6. Күтілетін нәтиже:** Цифрлық егізден алынған ақпарат негізінде деректерді визуализациялау, аналитика және басқару шешімдерін қабылдау үшін ыңғайлы пайдаланушы интерфейсін құру. **Нәтиже:** Бұл кезеңнің іс жүзінде орындалуы басқарушылық бақылау құралдары мен деректерді визуализациялауды біріктіретін толық функционалды гибридті интерфейсті әзірлеу және сәтті енгізу болды. Жүйенің негізі ағындық телеметрияға арналған Grafana дашбордтары, сондай-ақ мамандандырылған «Мобильді көмекші» қосымшасы болды. Масштабталатын үш деңгейлі архитектура іске асырылды. Жүйені 47 нақты тапсырыстың қатысуымен екі апталық пилоттық тестілеу оның тұрақтылығын және өнеркәсіптік пайдалануға толық дайындығын растады. **6.1. Күтілетін нәтиже:** Интерфейске қойылатын талаптарды анықтау. **Нәтиже:** Осы кезең аясында пайдаланушылардың үш мақсатты тобының қажеттіліктеріне терең талдау жүргізілді: өндірістік желі операторлары, инженер-технологтар және кәсіпорын басшылары. Жүйені пайдаланудың төрт негізгі сценарийі бөлініп көрсетілді. Талаптарды жинау және формализациялау үшін кең инструментарий қолданылды. Инновациялық тәсіл ретінде воркшоптар барысында функционалдық интерактивті прототиптерді жасау үшін Mendix low-code платформасын пайдалану болды. **6.2. Күтілетін нәтиже:** Интерфейс прототиптерін әзірлеу. **Нәтиже:** Жобалау процесі Human-Centered Design қағидаттарына негізделген спиральды итеративті модель бойынша құрылды. Деректерді беру кідірістерін азайту үшін Raspberry Pi 5 және ESP32 шлюздерін пайдалана отырып, edge-computing архитектурасы жобаланды. Итерациялар барысында мамандандырылған дашбордтар әзірленді. Прототиптерді юзабилити-тестілеу когнитивті жүктеме мен пайдаланушы тәжірибесін терең талдау үшін нейрофеноменологиялық тәсілдің озық әдіснамасын қолдана отырып жүргізілді. **6.3. Күтілетін нәтиже:** Пайдаланушы интерфейсін әзірлеу және цифрлық егіз жүйесімен біріктіру. **Нәтиже:** Mendix платформасы базасында бірнеше өзара байланысты модульдерден тұратын «Мобильді

	көмекші» қосымшасы құрылды. Модульдер: тапсырыстарды басқару, өндірісті оңтайландыру (алгоритмдер ұсынатын өндіріс тізбегін көрсетеді), өндірістік тақта және технологиялық карталар модулі. REST API арқылы цифрлық егізбен екі бағытты интеграция іске асырылды, бұл интерфейске өзекті телеметрияны оқып қана қоймай, сонымен қатар басқару командаларын беруге мүмкіндік береді. **6.4. Күтілетін нәтиже:** Интерфейсті тестілеу және жөндеу. **Нәтиже:** Сапаны қамтамасыз ету үшін көп деңгейлі тестілеу жүргізілді. Интеграциялық тесттер жоғары жұмыс жылдамдығын растады: InfluxDB-ден телеметриялық деректер бір секундтан аз кідіріспен түседі. Юзабилити-тестілеу нәтижелері операторлардың типтік аналитикалық есептерді орындау орташа уақытының дәстүрлі Excel кестелерін пайдаланумен салыстырғанда 51 пайызға қысқарғанын тіркеді. Қабылдау-тапсыру тестілеуі нөлдік сыни ақаулармен аяқталды. **6.5. Күтілетін нәтиже:** Өнімділікті оңтайландыру. **Нәтиже:** Пайдаланудың бастапқы кезеңдерінде өнімділікке қатысты мәселелер анықталды. Осы мәселелерді шешу үшін Grafana деңгейінде кэштеу енгізілді, InfluxDB-де тарихи деректердің автоматты алдын ала агрегациясы реттелді, edge-шлюздер деңгейінде деректерді қысу және алдын ала өңдеу механизмі енгізілді, Mendix қосымшасында SQL-сұраулары оңтайландырылды. Жүргізілген жұмыстар нәтижесінде дашбордтарды жүктеу уақыты 1,2 секундқа дейін қысқарды, желілік кідіріс 400-500 миллисекунд деңгейінде тұрақтанды. **7. Күтілетін нәтиже:** Нақты деректер мен пайдалану сценарийлерінде кәсіпорынның цифрлық егізін тестілеу және валидациялау бойынша тәжірибелік-эксперименттік жұмыстар жүргізу. **Нәтиже:** (орындалу сатысында / 2026 жылға жоспарланған) **7.1. Күтілетін нәтиже:** Эксперименттерге дайындық және пайдалану сценарийлерін әзірлеу. **Нәтиже:** (орындалу сатысында / 2026 жылға жоспарланған) **7.2. Күтілетін нәтиже:** Нақты жағдайларда тестілеу жүргізу. **Нәтиже:** (орындалу сатысында / 2026 жылға жоспарланған) **7.3. Күтілетін нәтиже:** Нәтижелерді талдау және модельдерді валидациялау. **Нәтиже:** (орындалу сатысында / 2026 жылға жоспарланған)

	7.4. Күтілетін нәтиже: Модельдерді түзету және қайта тестілеу. **Нәтиже:** (орындалу сатысында / 2026 жылға жоспарланған) **8. Күтілетін нәтиже:** Білім беру және ғылыми зерттеулерді қолдау, жасанды интеллект және IIoT технологияларын пайдалана отырып, өндірісті ынталандыру үшін оқыту стендтерін құру, шешім қабылдауды қолдау жүйесімен цифрлық егіздің адам-машина өзара әрекеттесуінің виртуалды ортасын әзірлеу. **Нәтиже:** (орындалу сатысында / 2026 жылға жоспарланған) **8.1. Күтілетін нәтиже:** Оқу материалдары мен бағдарламаларын әзірлеу. **Нәтиже:** (орындалу сатысында / 2026 жылға жоспарланған) **8.2. Күтілетін нәтиже:** Оқыту стендтерін құру. **Нәтиже:** (орындалу сатысында / 2026 жылға жоспарланған) **8.3. Күтілетін нәтиже:** Адам-машина өзара әрекеттесуіне арналған виртуалды ортаны әзірлеу. **Нәтиже:** (орындалу сатысында / 2026 жылға жоспарланған) **8.4. Күтілетін нәтиже:** Персоналды оқыту және тренингтер жүргізу. **Нәтиже:** (орындалу сатысында / 2026 жылға жоспарланған)

Зерттеу тобы мүшелерінің аты-жөні, идентификаторлары (Scopus Author ID, Researcher ID, ORCID, бар болса) және сәйкес профильдерге сілтемелер	1. Амирханова Гульшат Аманжоловна, Scopus Author ID: 57192719131, ORCID ID: 0000-0003-3933-5476, Web of Science Researcher ID: E-2791-2015 2. Кунелбаев Мурат Меркебекович, Scopus Author ID: 56203480200, ORCID ID: 0000-0002-5648-4476 3. Адилжанова Салтанат Альмуханбетовна, Scopus Author ID: 57194443737, ORCID ID: 0000-0003-1768-064X 4. Мазаков Талгат Жакупович, Scopus Author ID: 56192141700, ORCID ID: 0000-0001-9345-5167 5. Дузбаев Талгат Толеубаевич, ORCID ID: 0009-0006-8281-8616 6. Бельгибаев Бауржан Абдрахимович, Scopus Author ID: 57223978289, ORCID ID: 0000-0002-6857-3775. 7. Жайсанова Динара Сайлауовна, Scopus Author ID: 57204395807, ORCID ID: 0000-0002-8116-6111, Web of Science Researcher ID: R-4415-2017. 8. Құрманбайұлы Жомарт 9. Рустемов Алмас Ахметович, ORCID ID: 0009-0009-6970-0746. 10. Оспан Әсел Ғалымжанқызы, Scopus Author ID: 57238489800, ORCID ID: 0000-0002-1860-6997. 11. Байжанова Дина Ондасыновна, ORCID ID: 0000-0002-6109-8174. 12. Газиз Гульнур Газизкызы, Scopus Author ID: 57194443370, ORCID ID: 0009-0008-3586-6556. 13. Әліпбеки Оңғарбек Әліпбекұлы Scopus Author ID: 57190942962, ORCID ID: 0000-0001-6205-0490, Web of Science Researcher ID: AAR- 2498-2021 14. Тлетай Шолпан Тлетайқызы Scopus Author ID: 60135631000, ORCID ID: 0000-0003-0219-0015 15. Иса Сабина Жансбайқызы, ORCID ID: 0009-0005-3477-1609. 16. Тохтасын Мирас Мұратұлы Scopus Author ID: 59651288100 ,ORCID ID: 0009-0003-8682-8262 17. Амирханов Бауыржан Сайдашевич, Scopus Author ID: 57215412922, ORCID ID: 0000-0002-4915-0347. 18. Абдулхамит Назаргожа Хекимтулович, Scopus Author ID: 59669765900 ORCID ID: 0009-0000-1503-3508. 19. Айдынұлы Азим Scopus Author ID: 60130714000 , ORCID ID: 0009-0000-0176-5919, Web of Science Researcher ID: ONJ-6823-2025

	20. Амирханов Алихан Бауыржанұлы Scopus Author ID: 60069183100 ORCID ID: 0009-0003-3708-3153, Web of Science Researcher ID: MIT-0269-2025 21. Раева Алина Арманқызы ORCID ID: 0009-0001-4257-6919, Web of Science Researcher ID: PJS-3602-2026 22. Нұрғазы Томирис Нұрматқызы, Scopus Author ID: 59659920000, ORCID ID: 0009-0001-6650-5517. 23. Фарузқызы Еңлік ORCID ID: 0009-0001-1030-8266, Web of Science Researcher ID: OUJ-5453-2025 24. Копенов Абай Байболатович ORCID ID: 0009-0007-4054-1388 25. Юсубова Назлы Видадикызы ORCID ID: 0009-0006-9843-5732 26. Бектемір Лия Ерболқызы , Scopus Author ID: 60502888100, ORCID ID: 0009-0007-8589-8903 27. Исмаилов Сырым Асылбекұлы Scopus Author ID: 60351985100, ORCID ID: 0009-0009-0634-8765 28. Тойганбаева Назгуль Абеновна Scopus author ID: 56069463400,ORCID ID: 0000-0003-2661-8661. 29. Сакыпбекова Меруерт Жумабековна, Scopus Author ID: 57207453000, ORCID ID: 0000-0002-6652-1357. 30. Әділқызы Шырайлым ORCID ID: 0009-0001-9306-1763 31. Yang Chenghan , Scopus Author ID: 56176268500, ORCID ID: 0000-0001-7938-6919 32. Huanyu Liu Scopus Author ID: 26422206700,ORCID ID: 0000-0002-7944-7395 33. Fu Yanwei Scopus Author ID: 57213791184, ORCID ID: 0000-0002-6595-6893
Қолдану	Жоба нәтижелері практикалық және ғылыми және білім беру салаларында қолданылады. Тамақ өнеркәсібі кәсіпорындарының өндірістік операцияларында сандық егіз операциялық мониторинг және басқару құралы ретінде қолданылады: орналастырылған 17 IIoT түйіні өндіріс процесінің параметрлері бойынша үздіксіз деректерді жинауды 99,97% қолжетімділікпен және өлшеу дәлдігі 99,26%-дан асатындай етіп қамтамасыз етеді. Машиналық оқыту алгоритмдерінің жүйесі заңдылықтар мен ауытқуларды автоматты түрде анықтайды және олар орын алмас бұрын ауытқуларды болжайды. Энергияны басқару және ресурстарды үнемдеу саласында. Білім беру және оқыту саласында жоба жасанды интеллект және IIoT көмегімен өндірістік процестерді

	модельдеуге арналған оқу платформаларын құруды және өнеркәсіптік өндірісте сандық егіздерді құру және енгізу бойынша оқу материалдары мен нұсқаулықтарды әзірлеуді қамтиды. Бұл ғылыми нәтижелердің ҚазҰУ-дың білім беру бағдарламаларына тікелей интеграциялануын қамтамасыз етеді. Қайталанатын шешім. Жүйе архитектурасы бастапқыда сүт, фармацевтика және басқа да салаларға бейімделуді күтумен жасалған, бұл енгізудің әлеуетті нарығын айтарлықтай кеңейтеді.
Приоритет в сравнении с реальными аналогами	Әлемдік нарықта өнеркәсіптік цифрлық егіздерге арналған бірқатар жетілген шешімдер бар, соның ішінде Siemens MindSphere және Plant Simulation, Dassault Systèmes DELMIA платформасы және PTC ThingWorx. Дегенмен, егжей-тегжейлі салыстыру бұл жобаның бірнеше негізгі артықшылықтарын көрсетеді. Біріншіден, осы ұқсас шешімдердің барлығы негізінен дискретті өндіріске - машина жасау, автомобиль жасау және аэроғарыш саласына бағытталған және тамақ өнеркәсібі үшін мамандандырылған модульдерден айырылған. Бұл жоба тікелей өндірістен әзірленді, қазақстандық наубайханадан алынған нақты деректерді пайдаланып, модельдердің дәлдігін және осы сала үшін KPI-лердің өзектілігін қамтамасыз етеді. Маңызды айырмашылық — енгізу құны. Батыс платформалары үшін кіру шегі 14-тен 96 млн теңгеге дейін жетеді, ал әзірленген жүйенің капиталдық шығындары 3,8 млн теңгеден бастады — бұл салыстырмалы функционалдық мүмкіндіктермен шамамен 10–50 есе төмен. Сонымен қатар, жүйенің өтелу мерзімі алты айды құрайды, ал коммерциялық аналогтары әдетте бір жарым жылдан екі жылға дейін созылады. Сондай-ақ, шетелдік платформалар жеткізушіге тәуелділіктің жоғары дәрежесі бар меншікті экожүйелерде құрылғанын атап өту маңызды. Жоба аясында әзірленген жүйе қолжетімді компоненттік базаны пайдаланатын ашық архитектураға негізделген, бұл технологиялық тәуелділік қаупін жояды және шешімді тәуелсіз әзірлеу және Қазақстанда локализациялау үшін жағдайлар жасайды. Бұл жоба оқу стендтерін, оқу материалдарын жасауды және нәтижелерді ҚазҰУ-дың білім беру бағдарламаларына біріктіруді қамтиды, бұл ұқсас шешімдерді өз бетінше әзірлеуге және қайталауға

	қабілетті инженерлік кадрларды оқыту арқылы мультипликативті әсерді қамтамасыз етеді. Салалық мамандануды, түбегейлі қолжетімділіктің, технологиялық егемендіктің және білім беру компонентінің үйлесімі Қазақстан нарығындағы кез келген қолданыстағы коммерциялық шешіммен қайталанбайтын бәсекеге қабілетті профиль жасайды.

Жарияланымдар тізімі (URL, DOI көрсетілген)	**КОКСОН** 1. С. Адилжанова, А. Игильманов, Г. Тюлепбердинова, А. Салманова, Г. Амирханова. Применение анализа журналов для выявления dos-атак и определения поведения пользователей в процессе разработки цифрового двойника предприятия пищевой промышленности // Вестник КазАТК. Том 136 № 1 (2025), с. 96-107 https://doi.org/10.52167/1609-1817-2025-136-1-96-107 2. Амирханова Г. А.,Кунелбаев М.,Тюлепбердинова Г.,Амирханов А.,Тохтасын М .,Айдынулы А.,Ишмурзин Т.,Раева А. Обзор литературы о текущих тенденциях и передовых технологиях в области цифровых двойников в пищевой промышленности, «ШҚТУ хабаршысы», 2025, No 1, с.120-130, https://doi.org/10.51885/1561-4212_2025_1_120 3. B.S.Amirkhanov,G.A.Amirkhanova,A.Aidynuly, A.A.Raeva,A.,B.Amirkhanov//OPENTEAMS:AN INTEGRATED OPEN-SOURCE COLLABORATION FRAMEWORK FOR DIGITAL TWIN DEVELOPMENT AND MANAGEMENT // Вестник КазУТБ, т. 3, вып. 28, сентябрь 2025 г. DOI: https://vestnik.kaztbu.edu.kz/index.php/kazutb/article/view/919 4. Б.С.Амирханов,Г.А.Амирханова,А.А. Раева // АГРООНЕРКӘСІП САЛАСЫНДАҒЫ ЦИФРЛЫҚ ЕГІЗДЕР: ТҰЖЫРЫМДАМАЛАР МЕН ПРАКТИКА // Central Asian Economic Review. 2025;(3):199-224. DOI: https://caer.narxoz.kz/jour/article/view/1500 5. Г.А.Амирханова,А.А.Раева,А.Б.Амирханов,Н.Т .Нұрғазы,Д.Е.Ертаева//PYTORCH3D ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ ТАҒАМ ӨНЕРКӘСІБІ КӘСІПОРНЫНЫҢ ЦИФРЛЫҚ ЕГІЗІН ДАМЫТУДА 3D ТЕРЕҢ ОҚЫТУ ПРОЦЕСІН ЖЕДЕЛДЕТУ// Вестник КазАТК, vol. 138, № 3, May 2025. DOI: https://vestnik.alt.edu.kz/index.php/journal/article/view/2761

	6. Г. А. Амирханова, А. С. Адилжанова, М. М. Тохтасын, Т. Г. Жубанышева // ТАҒАМ ӨНЕРКӘСІБІНДЕГІ АҚЫЛДЫ ҚАПТАМА ЖӘНЕ АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ: ҚЫСҚАША ШОЛУ // Торайғыров университетінің Хабаршысы, ISSN 2959-068X. Физика, математика және компьютерлік ғылымдар сериясы. № 4, 2025 DOI: https://vestnik-pm.tou.edu.kz/archive/view-pdf/615 7. Дузбаев Т, Мазаков Д. Байжанова,Ш. Джомартова,А. Мазакова,Б. Амирханов,Г. Амирханова,А. Тынықулова // МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫПЕЧКИ ХЛЕБОБУЛОЧНОЙ ПРОДУКЦИИ // Вестник КазУТБ, т. 4, вып. 29, декабрь 2025 г., DOI: https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1261 8. Р. Аманова, Б. Белгібаев, Е.Майлыбаев, Г. Амирханова, Г. Тюлепбердинова // ЕГІСТІКТЕ ҚҰЛПЫНАЙ АУРУЛАРЫН НАҚТЫ УАҚЫТ ТӘРТІБІНДЕ АНЫҚТАУҒА АРНАЛҒАН ШЕТКІ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ НЕГІЗІНДЕГІ МОБИЛЬДІ АУЫЛШАРУАШЫЛЫҚ РОБОТЫН ЗЕРТТЕУ // Вестник КазАТК,№6 (141) 2025 DOI: https://doi.org/10.52167/1609-1817 **Scopus** 1. Amirkhanov B., Kunelbayev M., Issa S., Amirkhanova G., Nurgazy T., Zhumasheva A., Alipbeki O. // Enhancing Sustainable Biogas Generation Through a Real-Time Digital Twin of a Modular Bioreactor // Journal of Applied Data Sciences. – 2025. – Vol. 6, No. 4. – P. 2312–2331. **DOI:** http://dx.doi.org/10.47738/jads.v6i4.779 2. Amirkhanov B., Ishmurzin T., Kunelbayev M., Amirkhanova G., Aidynuly A., Tyulepberdinova G. // Digital twins and IIoT: comparison of Prometheus and InfluxDB // Bulletin of Electrical Engineering and Informatics. – 2025. – Vol. 14, No. 5. **DOI:** http://dx.doi.org/10.11591/eei.v14i5.9687 3. Chenghan Yang, Dingkun Zheng, Siming Chen, Madina Mansurova, Baurzhan Belgibaev, Baidong Zhao // AgriPath: a robust multi-objective path planning framework for agricultural robots in dynamic field environments // Front. Plant Sci., 27 November 2025 Sec. Sustainable and Intelligent Phytoprotection 16, 2025 **DOI:** https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2025.1687747/full

4. Jun-Hsiang Yao and Jielin Feng and Xinfang Tian and Kai Xu and Gulshat Amirkhanova and Siming Chen. // Beyond the Broadcast: Enhancing VR Tennis Broadcasting through Embedded Visualizations and Camera Techniques // Jul 2025, Arxiv **DOI:** https://doi.org/10.48550/arXiv.2507.20006
5. Gulshat Amirkhanova, Syrym Ismailov, Alikhan Amirkhanov, Saltanat Adilzhanova, Meiramkul Zhasuzakova, Siming Chen // A Lightweight, End-to-End Encrypted Data Pipeline for IIoT: An AES-GCM Implementation for ESP32, MQTT, and Raspberry Pi // Information 2026, 17(1), 33; 3 January 2026 **DOI:** https://doi.org/10.3390/info17010033
6. Raikhan Amanova, Baurzhan Belgibayev, Madina Mansurova, Madina Suleimenova, Gulshat Amirkhanova, Gulnur Tyulepberdinova // A Lightweight Edge-AI System for Disease Detection and Three-Level Leaf Spot Severity Assessment in Strawberry Using YOLOv10n and MobileViT-S // Computers 2026 15, 63 16 January 2026 **DOI:** https://doi.org/10.3390/computers15010063
7. Bauyrzhan Amirkhanov, Azim Aidynuly, Murat Kunelbayev, Gulshat Amirkhanova, Timur Ishmurzin, and Dinara Zhaisanova, // Evaluation of Databases for Digital Twins and Industrial Internet of Things: A Comparative Analysis // Journal of Advances in Information Technology, Vol. 17, No. 1, pp. 65-74, 2026. **DOI:** https://www.jait.us/show-263-1810-1.html
8. Lin Xuan, Baidong Zhao, Dingkun Zheng, Madina Mansurova, Baurzhan Belgibaev, Gulshat Amirkhanova, Alikhan Amirkhanov, Chenghan Yang // Multi-Objective Optimization and Federated Learning for Agri-Food Supply Chains via Dynamic Heterogeneous Graph Neural Networks // 31 January, Sustainability 2026, 18, 1426 **DOI:** https://doi.org/10.3390/su18031426
9. Saltanat Adilzhanova, Azim Aidynuly, Gulshat Amirkhanova, Yanwei Fu, Baizhanova Dina // A Comparative Analysis of Machine Learning Models for Anomaly Detection in Industrial Smart Meter Time-Series Data // Information 2026, 17(2), 131; **DOI:** https://doi.org/10.3390/info17020131

	10. Bauyrzhan Amirkhanov, Murat Kunelbayev, Gulshat Amirkhanova, Tomiris Nurgazy, Gulnur Tyulepberdinova, Sholpan Tletay // Development of a Digital Twin for a Bakery Line With Predictive Analytics and Adaptive Control Functions // IET Collaborative Intelligent Manufacturing 17 February 2026 **DOI:** https://doi.org/10.1049/cim2.70056 11. Gulshat Amirkhanova, Nazly Yusubova, Bauyrzhan Amirkhanov, Meruyert Sakypbekova, Chen Siming // Closed-Loop Digital Twin for Energy-Efficient Scheduling in Food Manufacturing Systems // Information 2026, 17(2), 195; 13 February 2026 **DOI:** https://doi.org/10.3390/info17020195 12. Gulshat Amirkhanova, Shyrailym Adilkyzy, Bauyrzhan Amirkhanov, Dina Baizhanova, Siming Chen // A Digital Twin Architecture for Integrating Lean Manufacturing with Industrial IoT and Predictive Analytics // Information 2026, 17, 196, 13 February 2026 **DOI:** https://doi.org/10.3390/info17020196 13. Saltanat Adilzhanova, Aigerim Rakhysh 1, Murat Kunelbayev, Gulshat Amirkhanova, Dana Sybanova // Digital Representations in IoT: Cryptographic Tools for Improved Security // Journal of Advances in Information Technology, Vol. 17, No. 2, 2026 **DOI:** https://www.jait.us/show-264-1834-1.html 14. Gulshat Amirkhanova, Bauyrzhan Amirkhanov, Miras Tokhtassyn, Murat Kunelbayev, Alina Raeva1, Onggarbek Alipbeki // Edge-Based Digital Twin Architecture for SME Energy Moni-toring: A Hypothesis-Driven Empirical Validation in Food Manufacturing // Chinese Science Bulletin, Volume 71, Issue 02, February, 2026 **DOI:** https://www.kexuetongbao-csb.com/article/edge-based-digital-twin-architecture-for-sme-energy-moni-toring-a-hypothesis-driven-empirical-validation-in-food-manufacturing
Патент туралы ақпарат	1. **Қазақстан Республикасының № 10232 пайдалы модельге патенті**, ХПК G01F 17/00. Резервуарлардағы мұнай өнімдері мен судың деңгейін анықтау жүйесі / Б. С. Амирханов, М. М. Кунелбаев, Г. Төлепбердинова, А. Б. Амирханов, Г. А. Амирханова; өтінім беруші және патент иеленуші Амирханова Гульшат Аманжоловна. – № 2025/0001.2; мәлімд. 02.01.2025; жариял. 21.02.2025, Бюлл. № 8. URL:

	https://gosreestr.kazpatent.kz/Utilitymodel/Details?docNumber=415575 2. **Қазақстан Республикасының № 10611 пайдалы модельге патенті**, ХПК G01H 1/00. Діріл датчигі / М. М. Кунелбаев, Б. С. Амирханов, Г. А. Төлепбердинова, А. Б. Амирханов, М. М. Тохтасын; өтінім беруші және патент иеленуші Амирханова Гульшат Аманжоловна. – № 2025/0419.2; мәлімд. 15.03.2025; жариял. 23.05.2025, Бюлл. № 21. URL: https://gosreestr.kazpatent.kz/Utilitymodel/DownLoadFilePdf?patentId=421136&lang=ru 3. **Қазақстан Республикасының № 37682 өнертабысқа патенті**. Стресті өлшеуге арналған құрылғы / Г. А. Төлепбердинова, М. М. Кунелбаев, Г. А. Амирханова; өтінім беруші және патент иеленуші Төлепбердинова Гүлнұр - № 2024/0783.1; мәлімд. 22.09.2024; жариял. 12.12.2025, Бюлл. № 50. URL: https://gosreestr.kazpatent.kz/Invention/Details?docNumber=407669 4. **Қазақстан Республикасының № 11897 пайдалы модельге патенті** / Жылумен өңдеу кезеңіндегі цифрлық егіздің командаларын верификациялау торабы / Адилжанова Салтанат Альмуханбетқызы, Прокопович-Ткаченко Дмитрий Игоревич, Амирханова Гульшат Аманжоловна, Әліпбеки Оңғарбек Әліпбекұлы, Амирханов Алихан Бауыржанұлы; патент иеленуші Амирханова Гульшат Аманжоловна – № 2025/1569.2; мәлімд. 15.10.2025; жариял. 13.03.2026, Бюлл. № 10. URL: https://gosreestr.kazpatent.kz/Utilitymodel/Details?docNumber=438044 5. **Қазақстан Республикасының № 11895 пайдалы модельге патенті** / Өндірістік циклдердің хэш-идентификаторлары негізіндегі цифрлық егіздің аутентификациялау модулі / Прокопович-Ткаченко Дмитрий Игоревич, Адилжанова Салтанат Альмуханбетқызы, Амирханова Гульшат Аманжоловна, Амирханов Алихан Бауыржанұлы; патент иеленуші Амирханов Алихан Бауыржанұлы – № 2025/1561.2; мәлімд. 14.10.2025; жариял. 13.03.2026, Бюлл. № 10. URL: https://gosreestr.kazpatent.kz/Utilitymodel/Details?docNumber=437913 6. **Қазақстан Республикасының № 11896 пайдалы модельге патенті** / Рецептуралық деректердің тұтастығын бақылау жүйесі /

	Адилжанова Салтанат Альмуханбетқызы, Прокопович-Ткаченко Дмитрий Игоревич, Амирханова Гүлшат Аманжолқызы, Абдулхамит Назарғожа Хекимтулұлы; патент иеленуші Амирханова Гульшат Аманжоловна; – № 2025/1563.2; мәлімд. 14.10.2025; жариял. 13.03.2026, Бюлл. № 10. URL: https://gosreestr.kazpatent.kz/Utilitymodel/Details?docNumber=437918 7. **Қазақстан Республикасының № 11920 пайдалы модельге патенті** / Нан пісіру желісінің цифрлық телқосақтың деректерін автономды криптографиялық қорғауға және тұтастығын бақылауға арналған жүйе / Адилжанова Салтанат Альмуханбетовна, Прокопович-Ткаченко Дмитрий Игоревич, Амирханов Алихан Бауыржанұлы, Амирханова Гульшат Аманжоловна; патент иеленуші Амирханова Гульшат Аманжоловна. – № 2025/1564.2; мәлімд. 14.10.2025; жариял. 20.03.2026. URL:https://gosreestr.kazpatent.kz/Utilitymodel/Details?docNumber=437921