








DOI 10.51885/1561-4212_2025_4_223
FTAXP 28.23.01

МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН ЭМБРИОН САПАСЫН ЖІКТЕУГЕ АРНАЛҒАН АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖҮЙЕ АРХИТЕКТУРАСЫН ӨЗІРЛЕУ

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КЛАССИФИКАЦИИ ЭМБРИОНОВ ПО КАЧЕСТВУ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

DEVELOPMENT OF THE ARCHITECTURE OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR CLASSIFICATION OF EMBRYO QUALITY BASED ON MACHINE LEARNING METHODS

А.М. Сыдықова ¹, А.Т. Байсалханов ¹, С.К. Құмарғажанова ^{1*},
А.С. Тлебалдинова ¹, С.С. Смаилова ¹

¹Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

*Жауапты автор: Құмарғажанова Сәуле, e-mail: skumargazhanova@gmail.com

Түйінді сөздер:

Автоматтандырылған
жүйе архитектурасы,
модульдік архитектура,
эмбриондарды жіктеу,
жасанды интеллект,
машиналық оқыту,
репродуктивті медицина,
эмбрион.

ТҮЙІНДЕМЕ

Бұл мақалада эмбриондарды сапасы бойынша жіктеуге арналған автоматтандырылған жүйенің архитектурасы құрылды. Жүйе компьютерлік көру әдістеріне және алдын ала дайындалған нейрондық желілерге негізделген, бұл талдаудың объективтілігі мен нәтиже тұрақтылығын қамтамасыз етеді. Ұсынылған архитектура пайдаланушы интерфейсі, қолданба деңгейіндегі деректерді өңдеу қабатын, жіктеу модулін және нәтижелер репозиторийін қамтиды, бұл жүктеуден бастап соңғы сапаны бағалауға дейінгі кескінді өңдеу ағынының бірізділігін қамтамасыз етеді. Қосымша кескінді алдын ала өңдеу және кіріс деректерін стандарттау механизмдері жүйенің тұрақтылығын және оны нақты зертханалық тәжірибеде қолдану мүмкіндігін жақсартады. Өзірленген құрылым модульдікке, масштабталуға және клиникалық ақпараттық жүйелермен интеграциялау мүмкіндігіне бағытталған. Архитектура жаңа терең оқыту модельдерін қосу немесе морфокинетикалық параметрлерді интеграциялау арқылы функционалды кеңейтуге мүмкіндік береді, бұл эмбрионды автоматты бағалаудың дәлдігін одан әрі арттыруға және клиникалық қолдану сценарийлерін кеңейтуге жол ашады. Ұсынылған архитектура эмбриологиядағы интеллектуалды шешім қабылдауды қолдау құралдарын әзірлеу үшін негіз бола алады.

Ключевые слова:

Архитектура
автоматизированной
системы, модульная
архитектура,
классификация
эмбрионов,
искусственный интеллект,

АННОТАЦИЯ

В данной работе разработана архитектура автоматизированной системы классификации эмбрионов по качеству. Система основана на применении методов компьютерного зрения и предобученных нейронных сетей, что обеспечивает объективность и воспроизводимость анализа. Предложенная архитектура включает пользовательский интерфейс, прикладной уровень обработки данных, модуль классификации и хранилище результатов, обеспечивающие



машинное обучение,
репродуктивная
медицина, эмбрион.

последовательный поток обработки изображений от загрузки до получения итоговой оценки качества. Дополнительные механизмы предобработки изображений и стандартизации входных данных повышают стабильность работы системы и её применимость в условиях реальной лабораторной практики. Разработанная структура ориентирована на модульность, масштабируемость и возможность интеграции с клиническими информационными системами. Архитектура допускает расширение функционала за счёт подключения новых моделей глубокого обучения или интеграции морфокинетических параметров, что открывает возможности для дальнейшего повышения точности автоматической оценки эмбрионов и расширения клинических сценариев использования. Представленная архитектура может служить основой для создания интеллектуальных инструментов поддержки принятия решений в эмбриологии.

Keywords:

Automated system architecture, modular architecture, embryo classification, artificial intelligence, machine learning, reproductive medicine, embryo.

ABSTRACT

This paper presents the architecture of an automated system for classifying embryos by quality. The system is based on the use of computer vision methods and pre-trained neural networks, which ensures the objectivity and reproducibility of the analysis. The proposed architecture includes a user interface, an application level of data processing, a classification module, and a results repository, providing a consistent image processing flow from loading to obtaining the final quality assessment. Additional image preprocessing and input data standardization mechanisms improve the stability of the system and its applicability in real laboratory practice. The developed structure is focused on modularity, scalability, and the ability to integrate with clinical information systems. The architecture allows for functional expansion by connecting new deep learning models or integrating morphokinetic parameters, which opens up opportunities for further improving the accuracy of automatic embryo assessment and expanding clinical use cases. The presented architecture can serve as a basis for the creation of intelligent decision support tools in embryology.

КІРІСПЕ

Қазақстанда да, бүкіл әлемде де бедеу жұптар санының артуы көмекші репродуктивті технологияларды (ҚРТ) қолдануға әкеліп соқтыруда (Сыдықова А.М., Жеңіс С.М. және т.б. (2025)). Экстракорпоральды ұрықтандыру (ЭҚҰ) – ең көп таралған ҚРТ әдістерінің бірі. Дегенмен, ЭҚҰ оң нәтижеге кепілдік бермейді; әйелдің жатырына қондырылған ұрықтардың тек шамамен 30 %-ы тірі туылуға әкеледі (M. Diakiw, S. Et al. (2022)). ЭҚҰ хаттамасының маңызды мақсаты – әйелге трансплантацияланатын эмбрионды дұрыс таңдау. Даму әлеуеті ең жақсы эмбрионды анықтау арқылы сәтті имплантация және жүктілік ықтималдығы артады, нәтижесінде бала туылады (Перминова, С.Г. және т.б. (2023)).

Эмбриондарды іріктеудің негізгі тәсілдерінің бірі олардың сапасы мен одан әрі даму әлеуетін болжауға мүмкіндік беретін морфологиялық бағалауға негізделген. Көптеген елдер имплантацияға дейінгі кезеңде эмбриондарды бағалау жүйесі ретінде Гарднер шкаласын пайдаланады (Архипова, Т.С. және т.б. (2025)), ол 5-6-шы күндердегі бластоциста мөлшерін, оның трофэктодермасының немесе мембранасының жасушалығын және жасушаішілік массаны ескереді.

Қазіргі заманғы репродуктивті орталықтар эмбриондарды өсіру үшін уақыт аралығын бейнелеудің (TLI) арнайы жүйелерін пайдаланады. Олардың артықшылығы, қолайлы және тұрақты жағдайлар жасаумен қатар, әрбір эмбрионды белгіленген аралықтарда үздіксіз



бейнесін жазып алу болып табылады (AlSaad, R. және т.б. (2025)). Осылайша, мұндай жүйелерден алынған жоғары сапалы эмбрион кескіндері ғалымдарға компьютерлік көру және машиналық оқыту әдістерін қолдана отырып зерттеу жүргізуге мүмкіндік береді.

Жасанды интеллектке (ЖИ) негізделген жүйелер медицинада, әсіресе репродуктивті медицинада қолданылуда. Бұл қажеттілік, себебі мұндай жүйелер көп көлемді ақпаратты өңдеп, адамдардың субъективтілігін азайта алады. Инкубаторлардан алынған үлкен көлемді уақыт аралығы деректердің негізінде компьютерлік модельдер үйреніп, эмбрионның дамуындағы заңдылықтарды анықтай алады. Бұл ең жақсы эмбриондарды іріктеу процесін жақсарту үшін ЖИ негізіндегі ақпараттық технологияларды әзірлеу мен енгізуді қажет етеді. Бұл ҚРТ бағдарламаларының тиімділігін арттырады және эмбриологтардың жұмысын оңтайландырады.

Бұл зерттеудің өзектілігі – ЖИ технологияларын TLI кескіндеріндегі эмбриондардың морфологиялық және морфокинетикалық ерекшеліктерін автоматты түрде анықтау үшін пайдалану, автоматтандырылған эмбриологиялық бағалау және шешім қабылдауды қолдау жүйелерінің тиімділігін арттыру. Бұл сондай-ақ бағалаудың объективтілігін жақсартуға және сарапшылардың ұсыныстарының дәлдігін арттыруға көмектеседі.

Бұл зерттеудің мақсаты - ең жақсы әлеуеті бар эмбрионды таңдау тиімділігін арттыру үшін эмбриондарды кескіндеріне қарап, жіктеуге мүмкіндік беретін бағдарламалық жасақтама жүйесінің архитектурасын әзірлеу.

ЗЕРТТЕУДІҢ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Репродуктивті клиникаларда эмбрион сапасын бағалау дәстүрлі түрде Gardner мен Schoolcraft шкаласы мен ESHRE/ALPHA консенсус нұсқауларына негізделген морфологиялық әдісті қолдану арқылы жүзеге асырылады (Gardner, D., Schoolcraft, W. (1999)). Бұл әдіс бластоцистаның кеңею дәрежесін, ішкі жасуша массасының (ICM) және трофтодерманың (TE) морфологиясын визуалды сипаттауды қамтиды. Дегенмен, бұл тәсілдің субъективтілікке және эмбриологтың жеке тәжірибесіне тәуелділікке байланысты шектеулері бар.

Бейнелеу жүйелерінің (EmbryoScore, Miri TL және т.б.) кеңінен таралуы эмбриондық дамуды үздіксіз бақылауға мүмкіндік берді. Олар пронуклеустардың пайда болуы мен жоғалуы, жасушалардың екі, үш және одан көп жасушаларға бөлінуі, моруланың және бластоцистаның пайда болуы сияқты негізгі морфокинетикалық параметрлерді тіркейді. Мұндай жүйенің мысалы 1-суретте көрсетілген. Бұл технология жасанды интеллектті пайдаланып үлкен көлемдегі кескіндерді өңдеу мүмкіндігіне байланысты талдаудың объективтілігін жақсартты (Armstrong, S., et al. (2019)).



1-сурет. ESCO Miri TL кадр бойынша визуализация жүйесі

Ескерту – сурет www.esco-medical.com сайтынан алынған



Соңғы жылдары ЖИ медицина саласының ажырамас бөлігіне айналды, диагностикалық және клиникалық талдау мүмкіндіктерін кеңейтті. Әсіресе рентген, магнитті-резонанстық томография және компьютерлік томография (КТ) сияқты медициналық кескіндерді автоматтандырылған өңдеуде белсенді қолданылады. Машиналық оқыту алгоритмдері патологияны, соның ішінде маманның көзбен анықтауы қиын өзгерістерді анықтаудың дәлдігін жақсарта алады (Есмұхамедов, Н. және т.б. (2025)).

Диагностикалық процесте ЖИ қолдану оның тиімділігін айтарлықтай жақсартады. Дегенмен, мұндай технологиялар дәрігерлерді алмастырмайды, керісінше, олардың жұмысын толықтырады, қолдау және шешім қабылдау үшін сенімді құрал ретінде қызмет етеді (Arijita, B., Sumit, K. (2024)).

Авторлар (Yesmukhamedov, N., et al. (2025)) автоматтандырылған медициналық кескіндерді талдау және электрондық медициналық жазбаларға интеграциялау үшін жасанды интеллект жүйесінің архитектурасын әзірлеуді қарастырды. Зерттеу модульдік архитектура масштабталуды және болашақта кеңеюді жеңілдетеді деген қорытындыға келген.

Зерттеуде (Карпов, О. және т.б. (2019)) авторлар заманауи медициналық ақпараттық жүйелердің (АЖ) архитектурасын ұсынды. АЖ архитектурасын құру оның құрылымын, компоненттерін, олардың бір-бірімен және сыртқы ортамен өзара әрекеттесуін, сондай-ақ жобалау принциптерін әзірлеудің маңызды ғылыми және инженерлік міндеті болып табылады. Авторлар келесі буын медициналық АЖ үшін қызмет көрсетуге бағытталған архитектураны енгізу интеллектуалды клиниканың технологиялық талаптарын қанағаттандыруға мүмкіндік беретінін атап өтті. Дегенмен, мұндай жүйені практикалық енгізу бағдарламашылар үшін де, медициналық мекемелер үшін де көп еңбекті қажет ететін процесс.

Torab-Miandoab, A., және басқа авторлар (2023) медициналық көмектің сапасына әсер ететін және ресурстарды тиімсіз пайдалануға әкелетін әртүрлі денсаулық сақтау ақпараттық жүйелері арасындағы өзара әрекеттесудің болмауы мәселесін қарастырды. Зерттеу әртүрлі медициналық ақпараттық жүйелер арасындағы интеграция механизмдерін әзірлеудің маңыздылығын көрсетті және ең көп таралған қызметке бағытталған жүйе архитектурасын ұсынды. Оның артықшылығы қолданбаларды әзірлеу кезінде әртүрлі платформалар мен тілдік орталарда бірыңғай қызмет көрсетудің өзара әрекеттесуін қамтамасыз ету екендігі атап өтілді.

Зерттеуде (Martins, J., et al. (2022)) авторлар қызмет көрсетуге бағытталған архитектураға негізделген медициналық ақпараттық жүйені әзірледі. Бұл жүйе архитектурасы қызмет көрсету тиімділігін және дерекқорды құруды жақсартуға көмектесті, бұл медициналық көмектің сапасын жақсартуы мүмкін.

Соңғы жылдары репродуктивті медицинада жасанды интеллект негізіндегі автоматтандырылған эмбриондарды бағалау жүйелері де белсенді дамып келеді.

Терең оқыту әдістеріне негізделген STORK/STORK-A және iDAScore сияқты модельдер эмбрион кескіндерін талдайды және оларды сапасы бойынша жіктейді, сондай-ақ имплантация ықтималдығын болжайды. Бұл жүйелер адам қателігінің әсерін азайтады, бірақ тірі туу көрсеткіштерін жақсарту туралы деректер әлі де шектеулі (Satoshi, U., et al. (2024)).

Шурыгина, О. және басқа авторлар (2021) морфокинетикалық күйлердің маркерлерін пайдаланып, адам эмбриондарының морфодинамикалық профилін жасау жүйесін жасады. Олардың пікірінше, эмбрионды бағалауға арналған бұл интеграцияланған тәсіл имплантация үшін ең перспективалы эмбриондарды таңдауға мүмкіндік береді.

Salih, M. және басқалар (2023) эмбриондарды таңдауда шешім қабылдауды қолдау үшін ЖИ пайдалану нәтижелерін эмбриологтардың стандартты таңдауымен салыстырып, көп жағдайда ЖИ эмбрион морфологиясын бағалауда және клиникалық нәтижелерді болжауда клиникалық топтардан асып түсті деген қорытындыға келді.



Осылайша, қолданыстағы тәсілдерді талдау кескінге негізделген эмбриондарды жіктеу үшін ЖИ технологияларын пайдаланудың өзекті екенін және субъективтілікті төмендететінін көрсетеді. Дегенмен, мұндай зерттеулер модельді таңдау мен дәлдікке бағытталғандықтан, ақпараттық технологиялар архитектураларының нақты сипаттамасы жоқ. ЖИ технологияларын қолдану мен уақыт аралығын талдаудағы айтарлықтай жетістіктерге қарамастан, жіктеу модельдерін, пайдаланушы интерфейстерін және деректерді сақтауды біріктіретін модульдік архитектуралық жүйелерді әзірлеу қажеттілігі әлі де бар. Мұндай архитектура эмбриологияда интеллектуалды шешім қабылдауды қолдау платформаларын құрудың негізін қалайды. Бұл мақалада осы мәселеге назар аударылады.

Бағдарламалық жасақтама шешімдерінің архитектурасын әзірлеуде модульдік тәсіл қолданылды. Бағдарламалық жасақтаманы әзірлеуге модульдік тәсілдің артықшылығы жеке жүйелік компоненттерді өз бетінше әзірлеу, сынау және орналастыру мүмкіндігінде жатыр (Галимова, М., Золотухин, К. (2024)). Әрбір модуль (пайдаланушы интерфейсі, алдын ала өңдеу модулі, жіктеу блогы және деректерді сақтау) жүйенің сенімділігін, қолдауын және болашақта кеңейту мүмкіндігін арттыратын қатаң анықталған функцияны орындайды.

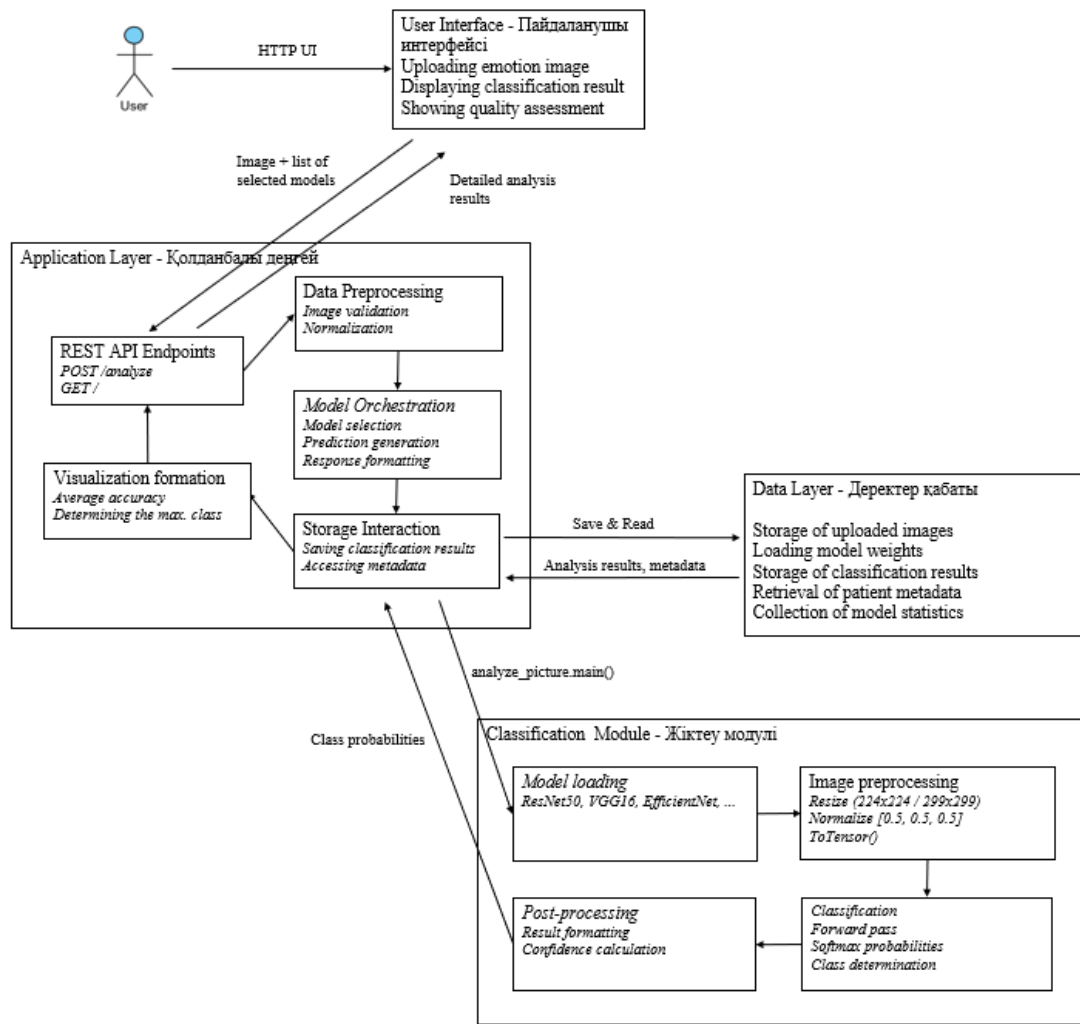
2-суретте машиналық оқыту әдістеріне негізделген эмбриондарды сапасы бойынша жіктеудің автоматтандырылған жүйесінің архитектурасы көрсетілген.

Ұсынылған архитектура машиналық оқыту әдістеріне негізделген эмбрион сапасын автоматтандырылған түрде жіктеуге арналған кешенді бағдарламалық жүйені білдіреді. Оған пайдаланушы интерфейсі, қолданбалы қабат, интеллектуалды жіктеу модулі және деректерді сақтау ішкі жүйесі кіреді. Бұл компоненттер кескінді өңдеудің толық циклін қолдайды: эмбрион кескіндерін жүктеуден бастап нейрондық желі модельдерінің ансамбліне негізделген соңғы сапаны бағалауды жасауға дейін.

Пайдаланушы интерфейсі (User Interface) эмбриолог немесе зерттеуші мен жүйе арасында веб-интерфейс арқылы өзара әрекеттесуді қамтамасыз етеді. Интерфейс пайдаланушыларға эмбрион кескінін жүктеуге, талдау үшін модельдер жиынтығын таңдауға, жіктеу нәтижелерін және соңғы сапаны бағалауды көруге мүмкіндік береді. Пайдаланушы мен жүйе арасындағы деректер алмасу HTTP протоқлы арқылы қолданбалы REST соңғы нүктелері арқылы жүзеге асырылады.

Қолданбалы деңгей (Application Layer) Flask фреймворкын пайдаланып жүзеге асырылады және бірқатар негізгі функцияларды орындайды. Олардың негізгісі жүйенің серверлік логикасын қамтамасыз ету. Ол пайдаланушы сұраныстарын өңдейді, интеллектуалды жіктеу модулімен өзара әрекеттеседі және пайдаланушы интерфейсі мен өңдеу модулі арасындағы деректерді беруді үйлестіреді. REST компоненті интерфейстен сұраныстарды қабылдайды, маршруттауды басқарады және ішкі модульдердің жұмысын үйлестіреді. Алдын ала өңдеу блогы (Data Preprocessing) кескінді тексеруді, қалыпқа келтіруді және талдау үшін деректерді дайындауды орындайды.

Жіктеу модулі (Classification Module) пайдаланушы сұрауы негізінде модельдерді таңдауға (Model loading), жіктеу блогына кескіндерді беруге, болжамдарды жинауға және соңғы жауапты біркелкі форматқа келтіруге (Post-processing) жауапты. Интеллектуалды жіктеу модулі эмбрион морфологиясын бағалауға үйретілген нейрондық желі архитектураларының жиынтығын (VGG16, ResNet50, EfficientNet және т.б.) қамтиды. Модуль кіріс ретінде қалыпқа келтірілген кескінді алады, содан кейін сәйкес модель салмақтарын жүктейді, кескінді түрлендіреді (Image preprocessing – масштабтау, қалыпқа келтіру және тензорларға түрлендіру), желінің алға өтуін орындайды және кластардың ықтималдық үлестірімін есептейді (Classification). Өңдеуден кейінгі кезеңде модельдің сенімділігі есептеледі, сапаның соңғы санаты алынып, нәтижелер кейіннен агрегациялау үшін қолданбалы деңгейге беріледі.



2-сурет. Эмбриондарды сапасы бойынша жіктеудің автоматтандырылған жүйесінің архитектурасы

Ескерту – суретті автор әзірлеген

Деректер қабаты (Data Layer) жүйенің дұрыс және қайталанатын жұмысы үшін қажетті барлық элементтерді сақтайды. Оған жүктелген эмбрион кескіндері, нейрондық желі моделінің салмақтары, жіктеу нәтижелері және қосалқы метадеректер кіреді. Деректер қоймасы деректерді ұзақ мерзімді сақтаудың орталық элементі ретінде қызмет етеді: ол файл құрылымын ұйымдастырады, әрі қарай талдау үшін деректерге қол жеткізуді қамтамасыз етеді және жүйені жаңа кескіндер жиынтығымен және модельдермен кеңейтуге мүмкіндік береді.

Сонымен архитектура масштабталуды ескере отырып модульдік түрде жасалған, бұл жүйені толық қайта қарауды қажет етпей, жаңа жіктеу модельдерін қосуға немесе деректерді өңдеу мүмкіндігін кеңейтуге мүмкіндік береді. Бұл тәсіл әртүрлі зерттеулер мен клиникалық сценарийлерге икемділік пен бейімделуді, сондай-ақ медициналық ақпараттық жүйелермен интеграциялану мүмкіндігін қамтамасыз етеді. Бұл автоматты эмбриондарды жіктеу нәтижелерін пациенттердің клиникалық параметрлерімен біріктіруге жол ашады, осылайша репродуктивті медицинада интеллектуалды шешім қабылдауды қолдау ортасын дамытуға ықпал етеді.



Эмбриологтар бластоциста морфологиясын David Gardner шкаласын пайдаланып бағалайды, ол даму дәрежесін, трофектодерма сапасын (TE) және жасушаішілік массаның (ICM) сапасын ескереді (Hannah, E., Pierson, J. et al. (2023)). Эмбрионның дамуы 1-ден 6-ға дейін сандық түрде бағаланады, ал TE және ICM сапасы әріптермен (A, B, C) белгіленеді. 1-дәреже әдетте бластоцист болып саналмайды, себебі ол қуыс морулаға көбірек ұқсайды. Осылайша, 45 мүмкін эмбрион санаты бар, олардың ішінде 6AA ең жоғары және 2CC ең төмен сапалы бластоциста болып табылады. Бұл егжей-тегжейлік деңгейі морфологияны сипаттауда жоғары дәлдікті қамтамасыз етсе де, көп класты автоматты жіктеуді практикалық түрде жүзеге асыруды өте көп еңбекті қажет етеді және техникалық тұрғыдан қиын. 45 тәуелсіз класты қалыптастыруға үлкен, теңгерімді және аннотацияланған деректер жиынтығын қажет етеді, бұл нақты эмбриологиялық тәжірибеде іс жүзінде мүмкін емес.

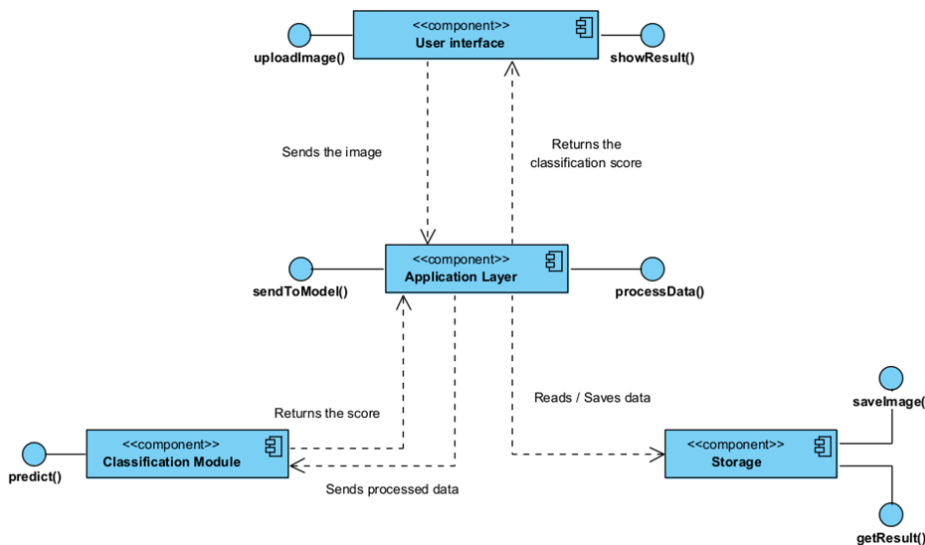
Сондықтан, бұл зерттеуде санаттарды агрегациялау стратегиясы қолданылды, онда 45 морфологиялық түр үш жалпыланған класқа біріктірілді: төмен сапалы (0), орташа сапалы (1) және жоғары сапалы (2) эмбриондар. Бұл тәсіл бір мезгілде клиникалық тұрғыдан маңызды сапа градацияларын сақтайды және терең оқыту модельдерін оқыту үшін жеткілікті деректерді береді, жіктеуіштердің тұрақтылығын және нәтижелердің қайталануын арттырады. 1-кестеде Gardner шкаласын қолдана отырып, бластоцисттің морфологиялық сипаттамаларына негізделген бластоцистаның сапа бойынша жіктелуі көрсетілген.

1-кесте. Бластоцистаның сапа бойынша жіктелуі

Эмбрионның класы	Gardner шкаласымен баға
Төмен	2-6BC, 2-6CB, 2-6CC
Орташа	2-6AB, 2-6BA, 2-6BB, 2AA
Жоғары	3-6AA

Ескерту – мәліметтер негізінде авторлармен әзірленді

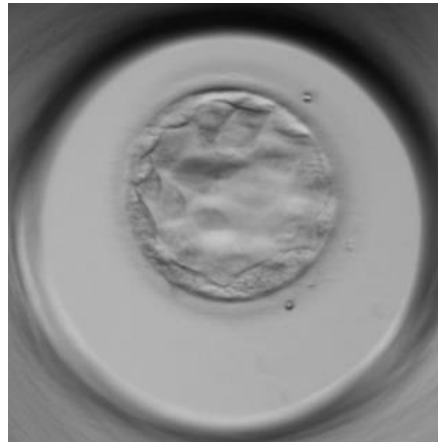
Жүйе компоненттерінің өзара әрекеттесуі кескінді талдаудың барлық кезеңдерін орындауды қамтамасыз ететін тізбекті алгоритм ретінде ұйымдастырылған. 3-суретте жүйенің негізгі компоненттерінің өзара әрекеттесуі көрсетілген.



3-сурет. Эмбрион сапасын автоматты түрде жіктеу жүйесінің негізгі компоненттерінің өзара әрекеттесуі

Ескерту – авторлармен әзірленді

Бірінші қадамда пайдаланушы уақыт аралығы инкубаторы арқылы алынған эмбрионның кескінін жүктеу үшін графикалық интерфейсін пайдаланады. Кескін мысалы 4-суретте көрсетілген.



4-сурет. Бластициста кескіні

Ескерту – сурет клиникадағы бейнелеу жүйесінен автормен алынды

Интерфейс файлды қолданбалы деңгейге жібереді, онда ол тексеріліп, бастапқыда өңделеді: форматы, ажыратымдылығы және кескін тұтастығы тексеріледі.

Екінші кезеңде деректер кескінді алдын ала өңдеуді жүзеге асыратын өңдеу модуліне (Application Layer) жіберіледі. Бұл жерде кескін өлшемін өзгерту, қалыпқа келтіру және нейрондық желі арқылы кейінгі талдау үшін тензорға түрлендіру жүргізіледі.

Содан кейін модуль кескінді интеллектуалды блок Classification Module болып табылатын жіктеу модуліне жібереді. Үшінші кезеңде жіктеу модулі пайдаланушы таңдаған алдын ала үйретілген модельді жүктейді. Бұл жүйеде оқыту үшін ResNet50, VGG16, EfficientNet-B0, Xception және GoogleNet сияқты нейрондық желілерді пайдаланды. Таңдалған модель болжам жасап, эмбрион сапа класын (0 – нашар, 1 – орташа, 2 – жақсы) және әрбір класс үшін ықтималдық үлестірімін анықтайды. Жіктеу нәтижесі қолданбалы деңгейге қайтарылады.

Төртінші кезеңде қолданбалы деңгей алынған деректерді өңдейді және визуализациялау үшін пайдаланушы деңгейіне береді. Пайдаланушы қорытынды балл мен жіктеу класс ықтималдықтарын көреді.

Қоса алғанда, кескін, болжамды сынып, модель параметрлері және метадеректерді қоса алғанда, талдау нәтижелері деректер қоймасында сақталады. Бұл жүргізілген барлық талдауларды бақылауға, статистиканы жасауға және жинақталған деректерді модельдерді кейінгі оқыту немесе валидациялау үшін пайдалануға мүмкіндік береді.

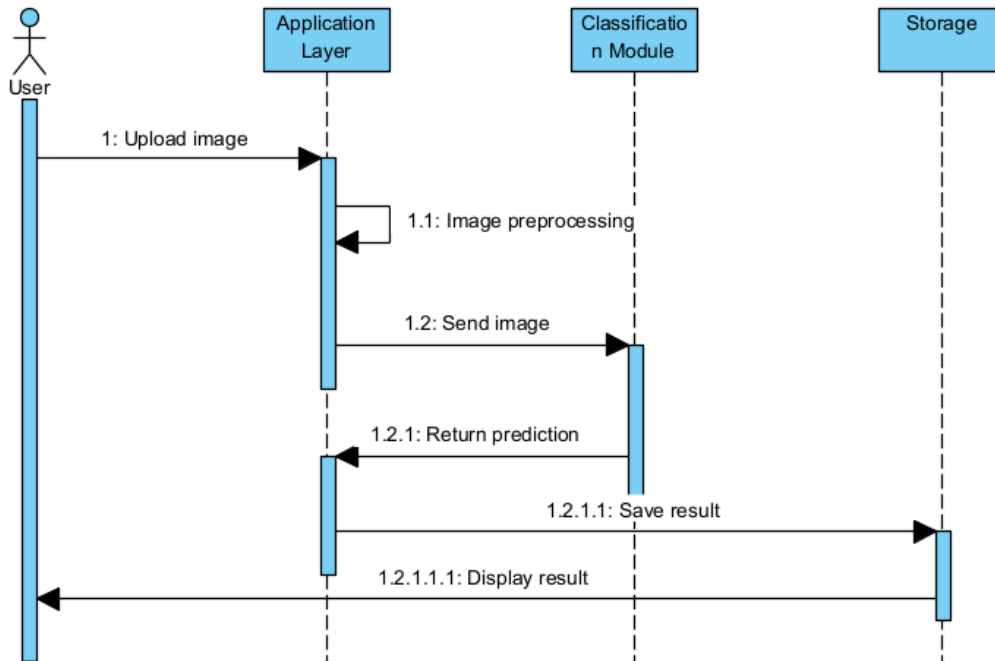
Компоненттер арасындағы деректер алмасу процесін визуализациялау үшін 5-суретте пайдаланушы, қолданбалы деңгей, жіктеу модулі және дерекқор арасындағы өзара әрекеттесуді көрсететін тізбектілік диаграммасы көрсетілген.

Ұсынылған жүйе архитектурасы оның практикалық құндылығын және одан әрі дамыту әлеуетін қамтамасыз ететін бірнеше артықшылықтарды ұсынады.

Біріншіден, архитектура модульдік және масштабталатын. Әрбір жүйе деңгейі қатаң анықталған функцияларды орындайды және басқа компоненттерден тәуелсіз өзгертілуі мүмкін. Бұл жаңа нейрондық желі модельдерін үздіксіз қосуға, бар алгоритмдерді жаңартуға немесе бүкіл жүйені толық қайта жобалауды қажет етпей функционалдылықты кеңейтуге мүмкіндік береді. Бұл тәсіл архитектураның икемділігі мен технологиялық өзгерістерге төзімділігін қамтамасыз етеді.



Екіншіден, жүйе әмбебап қолданылуымен сипатталады. Өзірленген архитектуралық модельді әртүрлі репродуктивті медицина клиникаларындағы эмбрион кескіндерін жіктеуге бейімдеуге болады.



5-сурет. Жүйе компоненттері арасындағы деректер алмасудың тізбектілік диаграммасы

Ескерту – сурет авторлармен әзірленді

Үшінші маңызды артықшылығы – клиникалық ақпараттық жүйелермен интеграциялаудың қарапайымдылығы. Стандартталған деректер форматтарын пайдалану және логикалық қабаттарды нақты ажырату жүйені қолданыстағы медициналық дерекқорларға немесе пациенттердің электрондық жазбаларына қосуға мүмкіндік береді, бұл оны нақты клиникалық жағдайларда қолдануға жарамды етеді.

Сонымен қатар, архитектура эмбрион талдауының қайталануын және стандартталуын арттыруға ықпал етеді. Автоматтандырылған кескінді өңдеу эмбриологтың визуалды бағалауына тән субъективті фактордың әсерін азайтады, нәтижелердің сәйкестігін қамтамасыз етеді және қорытындылардың сенімділігін арттырады.

Осылайша, ұсынылған архитектура технологиялық масштабталуды, бейімделуді және клиникалық қолданылуын біріктіретін интеллектуалды эмбриондарды талдау жүйелерін құру үшін сенімді және икемді негіз болып табылады.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Зерттеу нәтижесінде эмбрион сапасын кескіндерге негізделген автоматты түрде жіктеуге арналған бағдарламалық жасақтама жүйесінің архитектурасы жасалды. Ұсынылған архитектура логикалық деректерді өңдеу тізбегін жүзеге асырады және пайдаланушы интерфейсінен бастап деректер қоймасына дейінгі барлық компоненттер арасындағы тиімді өзара әрекеттесуді қамтамасыз етеді.

Жобалау процесінде жүйенің төрт функционалдық деңгейі анықталды: пайдаланушы, қолданба, жіктеу модулі және деректер қабаты. Бұл құрылым модульдік пен икемділіктің жоғары деңгейіне мүмкіндік берді. Әрбір қабат нақты анықталған



тапсырманы орындайды: пайдаланушы интерфейсі пайдаланудың қарапайымдылығын және нәтижелерді визуализациялауды қамтамасыз етеді; қолданба қабаты деректерді өңдеуді және сұраныстарды бағыттауды басқарады; жіктеу модулі нейрондық желі модельдерін орындауға жауапты; ал деректер қабаты кескіндерді, метадеректерді және талдау нәтижелерін сақтайды.

Нәтижесінде алынған архитектура негізгі кескіндерді өңдеу процестерін модельдеуде және жіктеу нәтижелерін алуда тиімділігін көрсетті. Атап айтқанда, деректер ағынын қабаттар арасындағы тізбекті өзара әрекеттесу ретінде енгізу деректердің жоғалуынсыз немесе кідіріссіз тұрақты берілуін қамтамасыз етті. Сонымен қатар, жүйенің модульдік дизайны негізгі құрылымды өзгертпестен жаңа терең оқыту модельдерін немесе қосымша функцияларды енгізу арқылы масштабталуға мүмкіндік береді.

Архитектураның артықшылықтарын талдау оның икемділік пен қайталануды ғана емес, сонымен қатар клиникалық ақпараттық жүйелермен интеграциялау мүмкіндігін де қамтамасыз ететінін көрсетті. Бұл ұсынылған архитектураны эмбрион сапасын бағалау үшін автоматтандырылған зертханалық және клиникалық процестерде практикалық қолдану мүмкіндіктерін ашады.

Осылайша, әзірленген архитектураны эмбриологияда интеллектуалды шешім қабылдауды қолдау жүйелерін құрудың әмбебап негізі деп санауға болады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл мақалада алдын ала үйретілген ResNet50, VGG16, EfficientNet-B0, Xception және GoogleNet нейрондық желілерді пайдалана отырып, time-lapse суреттері арқылы эмбрион сапасын автоматты түрде жіктеуге арналған бағдарламалық жүйенің архитектурасы ұсынылған. Ұсынылған шешім модульдік тәсілге негізделген және төрт негізгі қабатты қамтиды: пайдаланушы интерфейсі, қолданбалы қабат, жіктеу модулі және деректер қоймасы. Бұл құрылым ақпаратты өңдеудің логикалық ағынын қамтамасыз етеді және жүйенің барлық компоненттері арасында тиімді өзара әрекеттесуді қамтамасыз етеді.

Әзірленген архитектура масштабталу, жан-жақтылық және медициналық ақпараттық жүйелермен интеграциялану мүмкіндігі сияқты бірнеше артықшылықтарды ұсынады. Ол әртүрлі нейрондық желі архитектуралары мен кескін деректерінің түрлерін өңдеуге қабілетті икемді және бейімделгіш талдау құралдарын құруға негіз қалайды.

Ұсынылған жүйе репродуктивті медицинадағы эмбрион кескіндерін талдау саласындағы одан әрі зерттеулер үшін платформа бола алады. Болашақ жоспарларға бағдарламалық жасақтама прототипін енгізу, клиникалық дерекқорлармен интеграциялау және жүйеге морфокинетикалық параметрлерді талдауды қосу кіреді, бұл эмбрион сапасын автоматтандырылған бағалаудың дәлдігі мен клиникалық маңыздылығын арттырады.

МҮДДЕЛЕР ҚАЙШЫЛЫҒЫ: Авторлар мүдделер қайшылығы жоқ екенін мәлімдейді.

ҚАРЖЫЛАНДЫРУ: Бұл мақала Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің 2024–2026 жылдарға арналған ғылыми және/немесе ғылыми-техникалық жобаларға арналған гранттық қаржыландыруымен қолдау тапты (грант № AP23486396 «Компьютерлік диагностика үшін МРТ кескіндеріндегі анатомиялық құрылымдарды тану модельдері мен әдістері»).

АЛҒЫС БІЛДІРУ: Авторлар әріптестеріне әдіснамалық қолдауы мен пайдалы талқылаулары үшін, сондай-ақ мақаланың сапасын жақсартуға көмектескен құнды пікірлері үшін жасырын шолушыларға алғыс білдіреді.



ӘДБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- AlSaad, R., Abusarhan, L., Odeh, N. et al. (2025). Deep learning applications for human embryo assessment using time-lapse imaging: scoping review. *Frontiers in Reproductive Health*. Vol.7. <https://www.frontiersin.org/journals/reproductive-health/articles/10.3389/frph.2025.1549642>
- Arijita, B., Sumit, K. (2024). Artificial Intelligence in Healthcare. *Green Industrial Applications of Artificial Intelligence and Internet of Things*. Pp. 46–60. <http://dx.doi.org/10.2174/9789815223255124010007>
- Armstrong, S., Bhide, P., Jordan, V. et al. (2019). Time-lapse systems for embryo incubation and assessment in assisted reproduction. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. Issue 5. Art. No.: CD011320. DOI: 10.1002/14651858.CD011320.pub4
- Diakiw, S., Hall, M., J. et al. (2022). An artificial intelligence model correlated with morphological and genetic features of blastocyst quality improves ranking of viable embryos. *Reproductive BioMedicine Online*, Vol. 45, Issue 6. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2022.07.018>
- Gardner, D., Schoolcraft, W. (1999). Culture and transfer of human blastocysts. *Curr Opin Obstet Gynecol*, 11(3), 307–311. doi: 10.1097/00001703-199906000-00013
- Hannah, E., Pierson, J. et al. (2023). A novel system for rapid conversion of Gardner embryo grades to linear scale numeric variables. *Reproductive BioMedicine Online*, Vol. 46, Issue 5, 808–818. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2023.01.008>
- Martins, J., Bandiera-Paiva, P., Neto, A.R.B. et al. (2022). Development and validation of a health information system for assistance and research in gestational trophoblast disease. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 22, 173. <https://doi.org/10.1186/s12911-022-01916-4>
- Salih, M., Austin, C. et al. (2023). Embryo selection through artificial intelligence versus embryologists: a systematic review. *Hum Reprod Open*, 2023(3):hoad031. doi: 10.1093/hropen/hoad031. PMID: 37588797; PMCID: PMC10426717
- Satoshi, U., Jørgen, B., Tadashi, O. et al. (2024). Improved pregnancy prediction performance in an updated deep-learning embryo selection model: a retrospective independent validation study. *Reproductive BioMedicine Online*, Vol. 48, Issue 1, 103308. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2023.103308>
- Torab-Miandoab, A., Samad-Soltani, T., Jodati, A. et al. (2023). Interoperability of heterogeneous health information systems: a systematic literature review. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 23, 18. <https://doi.org/10.1186/s12911-023-02115-5>
- Yesmukhamedov, N., Sapakova, S. et al. (2025). Development of an information system architecture for healthcare institutions using artificial intelligence. *News of the National Academy of Science of the Republic of Kazakhstan. Physico-Mathematical Series*, 2(354), 74–91. <https://doi.org/10.32014/2025.2518-1726.345>
- Архипова, Т.С., Татищева, Ю.А., Калугина, А.С., и др. (2025). Time-lapse микроскопия в доимплантационной оценке эмбрионов человека. *Доктор.Ру*, 24(5), 7–11. DOI: 10.31550/1727-2378-2025-24-5-7-11 // Arkhipova, T.S., Tatishcheva, Yu.A., Kalugina, A.S., et al. (2025). Time-lapse mikroskopiya v doimplantatsionnoi otsenke embrionov cheloveka [Time-lapse microscopy in preimplantation assessment of human embryos]. *Doktor.Ru*, 24(5), 7–11. DOI: 10.31550/1727-2378-2025-24-5-7-11 (In Russ.)
- Галимова, М., Золотухин, К. (2024). Модульный подход к разработке объектно-ориентированных систем для анализа временных рядов. *Инновационное приборостроение*, 3(4), 68–73. DOI: 10.31799/2949-0693-2024-4-68-73// Galimova, M., Zolotukhin, K. (2024). Modulnyi podkhod k razrabotke ob'ektno-orientirovannykh sistem dlya analiza vremennykh riadov [Modular approach to developing object-oriented systems for time-series analysis]. *Innovatsionnoe Priborostroenie*, 3(4), 68–73. DOI: 10.31799/2949-0693-2024-4-68-73 (In Russ.)



- Карпов, О., Никуличев, А., Пензин, О. и др. (2019). Архитектура медицинских информационных систем нового поколения. Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова, 14(3). DOI: 10.25881/BPNMSC.2019.43.34.025 // Карпов, О., Nikulichev, A., Penzin, O. et al. (2019). Arkhitektura meditsinskikh informatsionnykh sistem novogo pokoleniya [Architecture of next-generation medical information systems]. Vestnik Natsionalnogo Mediko-Khirurgicheskogo Tsentra im. N.I. Pirogova, 14(3). DOI: 10.25881/BPNMSC.2019.43.34.025 (In Russ.)
- Перминова, С.Г., Савостина, Г.В., Екимов, А.Н., Белова, И.С. (2023). Роль преимплантационного генетического тестирования эмбрионов на анеуплоидии в исходах программ вспомогательных репродуктивных технологий у различных групп пациентов. Акушерство и Гинекология, 2023(3) // Perminova, S.G., Savostina, G.V., Ekimov, A.N., Belova, I.S. (2023). Rol' preimplantatsionnogo geneticheskogo testirovaniya embrionov na aneuploidii v iskhodakh programm vspomogatel'nykh reproduktivnykh tekhnologii u razlichnykh grupp patsientov [The role of preimplantation genetic testing for aneuploidies in outcomes of ART programs]. Akusherstvo i Ginekologiya, 2023(3) (In Russ.)
- Сыдыкова, А.М., Женис, С.М., Кумаргажанова, С.К., и др. (2025). Автоматическая классификация стадий эмбрионального развития на основе методов машинного обучения. Вестник Университета Шакарима. Серия технические науки, 2(18), 128–137. DOI: 10.53360/2788-7995-2025-2(18)-15 // Sydykova, A.M., Zhenis, S.M., Kumarghazanova, S.K., et al. (2025). Avtomaticheskaya klassifikatsiya stadij embrional'nogo razvitiya na osnove metodov mashinnogo obucheniya [Automatic classification of embryonic development stages using machine learning]. Vestnik Universiteta Shakarima. Seriya Tekhnicheskie Nauki, 2(18), 128–137. DOI: 10.53360/2788-7995-2025-2(18)-15 (In Russ.)
- Шурыгина, О., Немковский, Д., и др. (2021). Современные подходы к культивированию и автоанализу морфодинамики эмбрионов человека in vitro. Репродуктивная медицина (Центральная Азия), 3(48), 33–41. DOI: 10.37800/RM.3.2021.35-43 // Shurygina, O., Nemkovskiy, D., et al. (2021). Sovremennye podkhody k kultivirovaniyu i autoanalizu morfodinamiki embrionov cheloveka in vitro [Modern approaches to cultivation and auto-analysis of human embryo morphodynamics in vitro]. Reproduktivnaya Meditsina (Tsentral'naya Aziya), 3(48), 33–41. DOI: 10.37800/RM.3.2021.35-43 (In Russ.)

Авторлар туралы мәліметтер
Информация об авторах
Information about authors



Сыдықова Айжан Мұқатайқызы – «Ақпараттық жүйелер» мамандығының докторанты, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

Сыдыкова Айжан Мукатаевна – докторант по специальности «Информационные системы», Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Sydykova Aizhan – PhD student in Information Systems, East Kazakhstan Technical University named after D. Serikbaev, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,
e-mail: aizhansydyk@gmail.com,
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4093-6057>,



Байсалханов Темірлан – магистрант, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

Байсалханов Темирлан – магистрант, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Baisalkhanov Temirlan – master’s student, East Kazakhstan Technical University named after D. Serikbaev, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

e-mail: baisalkhanovtemirlan@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6931-7046>



Құмарғажанова Сәуле Құмарғажанқызы – т.ғ.к., профессор, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

Кумарғажанова Сауле Құмарғажановна – кандидат технических наук, профессор, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Kumargazhanova Saule – Candidate of Technical Sciences, Professor, East Kazakhstan Technical University named after D. Serikbaev, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

e-mail: skumargazhanova@gmail.com,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6744-4023>



Тлебалдинова Айжан Солтанғалиевна – PhD, қауымдастырылған профессор, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

Тлебалдинова Айжан Солтанғалиевна – PhD, ассоциированный профессор, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Tlebaldinova Aizhan – PhD, Associate Professor, East Kazakhstan Technical University named after D. Serikbaev, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

e-mail: atlebaldinova@edu.ektu.kz,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1271-0352>



Смаилова Сауле Сансызбаевна – PhD, қауымдастырылған профессор, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан

Смаилова Сауле Сансызбаевна – PhD, ассоциированный профессор, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Smailova Saule – PhD, Associate Professor, East Kazakhstan Technical University named after D. Serikbaev, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

e-mail: ssmailova@edu.ektu.kz,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8411-3584>