

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN



**ХАЛЫҚАРАЛЫҚ АҚПАРАТТЫҚ ЖӘНЕ
КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР
ЖУРНАЛЫ**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ
ИНФОРМАЦИОННЫХ И
КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION
AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES**

2025 (23) 3
шілде- қыркүйек

ISSN 2708–2032 (print)
ISSN 2708–2040 (online)

БАС РЕДАКТОР:

Исахов Асылбек Абдишимович — есептеу теориясы саласында математика бойынша PhD доктор, "Компьютерлік ғылымдар және информатика" бағыты бойынша қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің Басқарма Төрағасы – Ректор (Қазақстан)

БАС РЕДАКТОРДЫҢ ОРЫНБАСАРЫ:

Колесникова Катерина Викторовна — техника ғылымдарының докторы, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің ғылыми-зерттеу қызметі жөніндегі проректор (Қазақстан)

ҒАЛЫМ ХАТШЫ:

Ипалакова Мадина Түлегеновна — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің ғылыми-зерттеу қызметі жөніндегі департамент директоры (Қазақстан)

РЕДАКЦИЯЛЫҚ АЛҚА:

Разак Абдул — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының профессоры (Қазақстан)
Лучино Томмазо де Паолис — Саленто Университеті (Италия) инновация және технологиялық инжиниринг департаменті AVR зертханасының зерттеу және әзірлеу бөлімінің директоры

Лиз Бэкон — профессор, Абертей Университеті (Ұлыбритания) вице-канцлерінің орынбасары

Микеле Пагано — PhD, Пиза Университетінің (Италия) профессоры

Өтелбаев Мұхтарбай Өтелбайұлы — физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, КР ҰҒА академигі, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті математика және компьютерлік модельдеу кафедрасының профессоры (Қазақстан)

Рысбайұлы Болатбек — физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, Есептеу және деректер ғылымдары департаментінің профессоры, Astana IT University (Қазақстан)

Дайнеко Евгения Александровна — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті ақпараттық жүйелер кафедрасының профессор-зерттеушісі (Қазақстан)

Дузаев Нуржан Токсужаевич — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті цифрландыру және инновациялар жөніндегі проректор (Қазақстан)

Синчев Бахтгерей Куспанович — техника ғылымдарының докторы, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті ақпараттық жүйелер кафедрасының профессоры (Қазақстан)

Сейлова Нургуль Абдуллаевна — техника ғылымдарының докторы, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті компьютерлік технологиялар және киберқауіпсіздік факультетінің деканы (Қазақстан)

Мұхамедиева Ардак Габитовна — экономика ғылымдарының кандидаты, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті бизнес медиа және басқару факультетінің деканы (Қазақстан)

Абдикаликова Замира Тұрсынбаевна — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті математика және компьютерлік модельдеу кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)

Шильдибеков Ерлан Жаржанович — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті экономика және бизнес кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)

Дамелия Максұтовна Ескендірова — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)

Ниязгулова Айгуль Аскарбековна — филология ғылымдарының кандидаты, доцент, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті медиакоммуникация және Қазақстан тарихы кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)

Айтмағамбетов Алтай Зуфарович — техника ғылымдарының кандидаты, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті радиотехника, электроника және телекоммуникация кафедрасының профессоры (Қазақстан)

Бахтиярова Елена Азизбековна — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті радиотехника, электроника және телекоммуникация кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)

Канибек Сансызбай — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының профессор-зерттеушісі (Қазақстан)

Тынымбаев Сахиябай — техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті компьютерлік инженерия кафедрасының профессор-зерттеушісі (Қазақстан)

Алимереб Али Абд — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Қазақстан)

Мохамед Ахмед Хамада — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті ақпараттық жүйелер кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Қазақстан)

Янг Им Чу — PhD, Гачон университетінің профессоры (Оңтүстік Корея)

Талеуш Валдас — PhD, Адам Мицкевич атындағы (Польша) университеттің проректоры

Мамырбаев Оркен Жұмажанович — PhD, КР ҒЖБМ Ғылым комитеті ақпараттық және есептеу технологиялары институты ӨМК директорының ғылым жөніндегі орынбасары (Қазақстан)

Бушув Сергей Дмитриевич — техника ғылымдарының докторы, профессор, Украинаның "УКРНЕТ" жобаларды басқару қауымдастығының директоры, Киев ұлттық құрылыс және сәулет университеті жобаларды басқару кафедрасының меңгерушісі (Украина)

Белошицкая Светлана Васильевна — техника ғылымдарының докторы, доцент, Astana IT University есептеу және деректер ғылымы кафедрасының профессоры (Қазақстан)

РЕДАКТОР:

Мрзабаева Раушан Жалиевна — магистр, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің редакторы (Қазақстан)

Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Меншік иесі: АҚ «Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті» (Алматы қ.).

Қазақстан Республикасы Ақпарат және қоғамдық даму министрлігіне мерзімді баспасөз басылымын есепке қою туралы куәлік № KZ82VPY00020475, 20.02.2020 ж. берілген

Тақырып бағыты: ақпараттық технологиялар, ақпараттық қауіпсіздік және коммуникациялық технологиялар, әлеуметтік-экономикалық жүйелерді дамытудағы цифрлық технология.

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

Тираж: 100 дана.

Редакция мекенжайы: 050040 Алматы қ., Манас к., 34/1, каб. 709, тел: +7 (727) 244-51-09.

E-mail: ijict@iitu.edu.kz

Журнал сайты: <https://journal.iitu.edu.kz>

© Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті АҚ, 2025

Журнал сайты: <https://journal.iitu.edu.kz> © Авторлар ұжымы, 2025

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Исахов Асылбек Абдиашимович — доктор PhD по математике в области теории вычислимости, ассоциированный профессор по направлению "Компьютерные науки и информатика", Председатель Правления – Ректор Международного университета информационных технологий (Казахстан)

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

Колесникова Катерина Викторовна — доктор технических наук, профессор, проректор по научно-исследовательской деятельности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ:

Ипалакова Мадина Тулегеновна — кандидат технических наук, ассоциированный профессор, директор департамента по научно-исследовательской деятельности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Разак Абдул — PhD, профессор кафедры кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Лучио Томмазо де Паолис — директор отдела исследований и разработок лаборатории AVR департамента инноваций и технологического инжиниринга Университета Саленто (Италия)

Лиз Бэкон — профессор, заместитель вице-канцлера Университета Абертей (Великобритания)

Микеле Пагано — PhD, профессор Университета Пизы (Италия)

Отелбаев Мухтарбай Отелбайұлы — доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, профессор кафедры математического и компьютерного моделирования Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Рысбайұлы Болатбек — доктор физико-математических наук, профессор, профессор Astana IT University (Казахстан)

Дайнеко Евгения Александровна — PhD, профессор-исследователь кафедры информационных систем Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Дузбаев Нуржан Токкужаевич — PhD, ассоциированный профессор, проректор по цифровизации и инновациям Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Синчев Бахтгерей Куспанович — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных систем Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Сейлова Нургуль Абадуллаевна — кандидат технических наук, декан факультета компьютерных технологий и кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Мухамедиева Ардак Габитовна — кандидат экономических наук, декан факультета бизнеса медиа и управления Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Абдикаликова Замира Турсынбаевна — PhD, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой математического и компьютерного моделирования Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Шильдибеков Ерлан Жаржанович — PhD, ассоциированный профессор, заведующий кафедрой экономики и бизнеса Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Дамеля Максусовна Ескендирова — кандидат технических наук, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Ниязгулова Айгуль Аскарбековна — кандидат филологических наук, доцент, профессор, заведующая кафедрой медиакоммуникации и истории Казахстана Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Айтмагамбетов Алтай Зуфарович — кандидат технических наук, профессор кафедры радиотехники, электроники и телекоммуникаций Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Бахтиярова Елена Ажибековна — кандидат технических наук, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой радиотехники, электроники и телекоммуникаций Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Канибек Сансызбай — PhD, ассоциированный профессор, профессор-исследователь кафедры кибербезопасности, Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Тынымбаев Сахиябай — кандидат технических наук, профессор, профессор-исследователь кафедры компьютерной инженерии, Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Алмисреб Али Абд — PhD, ассоциированный профессор кафедры кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Мохамед Ахмед Хамада — PhD, ассоциированный профессор кафедры информационных систем Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Янг Им Чу — PhD, профессор университета Гачон (Южная Корея)

Талеуш Валлас — PhD, проректор университета имен Адама Мицкевича (Польша)

Мамырбаев Оркен Жумажанович — PhD, заместитель директора по науке РГП Института информационных и вычислительных технологий Комитета науки МНВО РК (Казахстан)

Бушуев Сергей Дмитриевич — доктор технических наук, профессор, директор Украинской ассоциации управления проектами «УКРНЕТ», заведующий кафедрой управления проектами Киевского национального университета строительства и архитектуры (Украина)

Белошницкая Светлана Васильевна — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры вычислений и науки о данных Astana IT University (Казахстан)

РЕДАКТОР:

Мрзабаева Раушан Жалиевна — магистр, редактор Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Международный журнал информационных и коммуникационных технологий

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Собственник: АО «Международный университет информационных технологий» (г. Алматы).

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Министерство информации и общественного развития Республики Казахстан № KZ82VPY00020475, выданное от 20.02.2020 г.

Тематическая направленность: информационные технологии, информационная безопасность и коммуникационные технологии, цифровые технологии в развитии социально-экономических систем.

Периодичность: 4 раза в год.

Тираж: 100 экземпляров.

Адрес редакции: 050040 г. Алматы, ул. Манаса 34/1, каб. 709, тел: +7 (727) 244-51-09.

E-mail: ijict@iitu.edu.kz

Сайт журнала: <https://journal.iitu.edu.kz>

© АО Международный университет информационных технологий, 2025

© Коллектив авторов, 2025

EDITOR-IN-CHIEF

Assylbek Issakhov — PhD in Mathematics in Computability Theory, associate professor in “Computer Science and Informatics,” Chairman of the Board – Rector of the International Information Technology University (Kazakhstan)

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

Kateryna Kolesnikova — Doctor of Technical Sciences, professor, Vice-Rector for Research, International Information Technology University (Kazakhstan)

ACADEMIC SECRETARY

Madina Ipalakova — Candidate of Technical Sciences, associate professor, Director of the Research Department, International Information Technology University (Kazakhstan)

EDITORIAL BOARD

Abdul Razak — PhD, professor, Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

Lucio Tommaso De Paolis — Director of the R&D Department of the AVR Laboratory, Department of Engineering for Innovation, University of Salento (Italy)

Liz Bacon — Professor, Deputy Vice-Chancellor, Abertay University (United Kingdom)

Michele Pagano — PhD, Professor, University of Pisa (Italy)

Mukhtarbay Otelbayev — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor, academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, professor of the Department of Mathematical and Computer Modeling, International Information Technology University (Kazakhstan)

Bolatbek Rysbauly — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor, professor of the Department of Computing and Data Science, Astana IT University (Kazakhstan)

Yevgeniya Daineko — PhD, research professor, Department of Information Systems, International Information Technology University (Kazakhstan)

Nurzhan Duzbayev — PhD, associate professor, Vice-Rector for Digitalization and Innovation, International Information Technology University (Kazakhstan)

Bakhtgerai Sinchev — Doctor of Technical Sciences, professor, Department of Information Systems, International Information Technology University (Kazakhstan)

Nurgul Seilova — Candidate of Technical Sciences, Dean of the Faculty of Computer Technologies and Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

Ardak Mukhamediyeva — Candidate of Economic Sciences, Dean of the Faculty of Business, Media and Management, International Information Technology University (Kazakhstan)

Zamira Abdikalikova — PhD, associate professor, Head of the Department of Mathematical and Computer Modeling, International Information Technology University (Kazakhstan)

Yerlan Shildibekov — PhD, associate professor, Head of the Department of Economics and Business, International Information Technology University (Kazakhstan)

Damilya Yeskendirova — Candidate of Technical Sciences, associate professor, Head of the Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

Aigul Niyazgulova — Candidate of Philological Sciences, Professor, Head of the Department of Media Communications and History of Kazakhstan, International Information Technology University (Kazakhstan)

Altai Aitmagambetov — Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Radio Engineering, Electronics and Telecommunications, International Information Technology University (Kazakhstan)

Yelena Bakhtiyarova — Candidate of Technical Sciences, associate professor, Head of the Department of Radio Engineering, Electronics and Telecommunications, International Information Technology University (Kazakhstan)

Kanibek Sansyzbay — PhD, research professor, Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

Sakhybay Tynymbayev — Candidate of Technical Sciences, Professor, Research Professor, Department of Computer Engineering, International Information Technology University (Kazakhstan)

Ali Abd Almisreb — PhD, associate professor, Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

Mohamed Ahmed Hamada — PhD, associate professor, Department of Information Systems, International Information Technology University (Kazakhstan)

Yang Im Chu — PhD, Professor, Gachon University (South Korea)

Tadeusz Wallas — PhD, Vice-Rector, Adam Mickiewicz University (Poland)

Orken Mamyrbayev — PhD, Deputy Director for Science, RSE Institute of Information and Computational Technologies, Committee for Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Kazakhstan)

Sergey Bushuyev — Doctor of Technical Sciences, professor, Director of the Ukrainian Project Management Association “UKRNET,” Head of the Department of Project Management, Kyiv National University of Construction and Architecture (Ukraine)

Svetlana Beloshitskaya — Doctor of Technical Sciences, professor, Department of Computing and Data Science, Astana IT University (Kazakhstan)

EDITOR

Raushan Mrzabayeva — Master of Science, editor, International Information Technology University (Kazakhstan)

«International Journal of Information and Communication Technologies»

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Owner: International Information Technology University JSC (Almaty).

The certificate of registration of a periodical printed publication in the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan, Information Committee No. KZ82VPY00020475, issued on 20.02.2020.

Thematic focus: information technology, digital technologies in the development of socio-economic systems, information security and communication technologies

Periodicity: 4 times a year.

Circulation: 100 copies.

Editorial address: 050040. Manas st. 34/1, Almaty. +7 (727) 244-51-09. E-mail: ijict@iitu.edu.kz

Journal website: <https://journal.iitu.edu.kz>

© International Information Technology University JSC, 2025

© Group of authors, 2025

МАЗМҰНЫ

А.Е. Абдуалиев, Г.Қ. Сембина ГЕНЕТИКАЛЫҚ АЛГОРИТМ ЖӘНЕ БАЙЕСИЯЛЫҚ ГИПЕРПАРАМЕТРЛЕРДІ ОҢТАЙЛАНДЫРУ НЕГІЗІНДЕ АЙМАҚТЫҚ БЮДЖЕТТІ БӨЛҮДІ ОҢТАЙЛАНДЫРУ.....8	8
А.М. Альжанов, К.Қ. Рахымбек, А.Б. Нугуманова БЛОКЧЕЙННЕН ШАБЫТТАНҒАН КОНСЕНСУС МОДЕЛЬДЕРІ АРҚЫЛЫ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ НЕГІЗІНДЕГІ СУ ТАСҚЫНЫ БОЛЖАМЫНЫҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН АРТТЫРУ.....24	24
А.З. Айтмагамбетов, С.Ж. Жұмағали, А.С. Инчин, С.М. Трепашко НАВИГАЦИЯЛЫҚ ПЛОМБА МОДУЛЬДЕРІНІҢ ЭНЕРГИЯ ТҰТЫНУЫН БАҒАЛАУ ҮШІН СТЕНД ӨЗІРЛЕУ ЖӘНЕ СЫНАУ.....45	45
С. Аманжолова, Г. Мутанов, С. Муханов, О. Усатова, А. Razaque ZABVIX ЖӘНЕ GRAFANA КӨМЕГІМЕН ЖЕЛІЛІК БЕЛСЕНДІЛІКТІ БАҚЫЛАУҒА ЖӘНЕ SQL ИНЪЕКЦИЯЛЫҚ ШАБУЫЛДАРЫН АНЫҚТАУҒА АРНАЛҒАН AI-МЕН ЖҰМЫС ІСТЕЙТІН ЖҮЙЕ.....61	61
Н.Ә. Асан, Д.М. Утебаева, А.Е. Қасенхан, Л.М. Илипбаева БІЛІМ БЕРУ ЖҮЙЕЛЕРІНЕ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТІНІ ЕНГІЗУ.....84	84
О. Бекмурат, В. Сербин, М. Алиманова, Ү. Базарбаева ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ НЕГІЗІНДЕ ЖАСӨСПІРІМДЕРДІҢ СУИЦИДТІК БЕЙІМДІЛІГІН БОЛЖАУ.....100	100
А. Белошицкий, Ю. Андрашко, А. Кучанский, А. Нефтисов, М. Гладка ЖАҢА АУЫЛШАРУАШЫЛЫҚ ДАҚЫЛДАРЫН ӨСІРУ БОЙЫНША ЖЫЛЫЖАЙ АУЫЛШАРУАШЫЛЫҚ КӘСІПОРЫНДАРЫНЫҢ ОПЕРАЦИЯЛЫҚ ҚЫЗМЕТІНЕ ШЕШІМ ҚАБЫЛДАУ ҮЛГІСІ.....115	115
Э. Гайсина, А. Кубашева, А. Кумаргалиева, Г. Дашева, П. Шмидт ОНЛАЙН ОҚЫТУ ПЛАТФОРМАЛАРЫНЫҢ ҚАБЫЛДАНУЫНА ЫҚПАЛ ЕТЕТІН ФАКТОРЛАРДЫ АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР ТҰРҒЫСЫНАН ЗЕРТТЕУШ.....133	133
Ележанова, Х. Кутуку, Ш. Коданова, А. Кубашева, Ж. Аманбаева DuckDB МЕН ChromaDB НЕГІЗІНДЕ ҚЫЗМЕТКЕРЛЕР ТУРАЛЫ МӘЛІМЕТТЕРДІ ӨНДЕУДЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ДЕРЕКТЕРДІ ТАЛДАУ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНУ.....145	145
А.К. Калдарова, М.А. Васкез СТУДЕНТТЕРДІҢ СӨЗДІК ҚОРЫН ДАМУ: WORDWALL ПЛАТФОРМАСЫ НЕГІЗІНДЕГІ ИНТЕРАКТИВТІ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІНІҢ ҰҚПАЛЫ.....173	173
К.В. Колесникова, А.В. Нефтисов, И.М. Казамбаев, Т.М. Олех, Ж. Әбдібаев, МӘЛІМЕТТЕРДІ ИНТЕГРАЦИЯЛАУДЫҢ МӘСЕЛЕЛЕР АРАЛЫҚ СУ РЕСУРСТАРЫН БАСҚАРУДАҒЫ ӘДІСТЕМЕЛІК ҚАҒИДАТТАРЫ.....186	186
Л. Курманғазиева, О. Финдик, В. Махатова, Д. Құдабаева, А. Маратұлы ОБЪЕКТІЛЕРДІ ТАҢУ ЖӘНЕ ЫҒЫСУЫН БАҚЫЛАУҒА АРНАЛҒАН КОНВОЛЮЦИЯЛЫҚ НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІ.....202	202
Г.М. Мауина, Б.Е. Таныкпаева, А.У. Есиркепова, Г.Ж. Өтеген, Х.М. Рай МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІМЕН АГРОӨНЕРКӘСІПТІК ТИІМДІЛІК КӨРСЕТКІШТЕРІ БОЙЫНША СЫРТҚЫ ФАКТОРЛАРДЫ БАҒАЛАУ.....222	222
К.К. Мырзабек, А.Б. Хасен, Ш.М.У. Хан УАҚЫТТЫҚ ЫҚТИМАЛДЫ АВТОМАТТАР НЕГІЗІНДЕ ӨУЕ ҚОЗҒАЛЫСЫН БАСҚАРУ ЖҮЙЕЛЕРІН ТАЛДАУ.....238	238
М.К. Рыспаева, О.С. Салыкова ТРАНСФЕРЛІК ОҚЫТУ МЕН RADIMAGENET САЛМАҚТАРЫНА НЕГІЗДЕЛГЕН СИРЕК ПАТОЛОГИЯЛАРҒА АРНАЛҒАН GAN ӘДІСІ АРҚЫЛЫ МЕДИЦИНАЛЫҚ БЕЙНЕЛЕРДІ ГЕ НЕРАЦИЯЛАУ.....254	254
Б. Синчев, А. Синчев, Н. Бахтгерейұлы, А. Муханова	

МЫҢЖЫЛДЫҚ МӘСЕЛЕСІНІҢ ШЕШІМДІЛІГІ: Р ЖӘНЕ NR.....	270
М.У. Сулейменова, Д.М. Мұхаммеджанова, А.С. Бижанова ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ НЕГІЗІНДЕ ТЕРІНІ ДИАГНОСТИКАЛАУ ЖӘНЕ МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ОҒАН КҮТІМ ЖАСАУДЫ ОҢТАЙЛАНДЫРУ.....	278
А. Тлеубаев, С.Е. Керімқұл, А. Адалбек, Ж.С. Асанова, К.Д. Кулиев АНАЛИТИКАЛЫҚ ИЕРАРХИЯ ПРОЦЕСІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН АУЫЛШАРУАШЫЛЫҚ ТЕХНИКАСЫН БАҒАЛАУДЫҢ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ТӘСІЛІ.....	289
М. Уразғалиева, Х.И. Бюльбюль, Б. Утенова, А. Майлыбаева, А. Муханбетқалиева КӨРНЕКІ ДЕРЕКТЕРДІ КОЛОРИЗАЦИЯЛАУ ҮШІН АВТОКОДЕР НЕГІЗІНДЕГІ НЕЙРОЖЕЛЛІК МОДЕЛЬДІ ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ОҚЫТУ.....	303
Р.К. Ускенбаева, Ж.Б. Кальпеева, А.Н. Молдагулова, А.Б. Касымова, Р.Ж. Сатыбалдиева ӨНДІРУШІЛЕР МЕН ИМПОРТТАУШЫЛАРҒА АРНАЛҒАН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУҒА НЕГІЗДЕЛГЕН НЕСИЕЛІК БАҒАЛАУ.....	323

СОДЕРЖАНИЕ

А.Е. Абдуалиев, Г.К. Сембина ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО БЮДЖЕТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА И БАЙЕСОВСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ГИПЕРПАРАМЕТР ОВ.....	8
А.М. Альжанов, К.К. Рахымбек, А.Б. Нугуманова ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАВОДНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНСЕНСУСНЫХ МОДЕЛЕЙ, ВДОХНОВЛЁННЫХ БЛОКЧЕЙН ОМ.....	24
А.З. Айтмагамбетов, С.Ж. Жумағали, А.С. Инчин, С.М. Трепашко РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЯ СТЕНДА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ МОДУЛЕЙ НАВИГАЦИОННОЙ ПЛОМБЫ.....	45
С. Аманжолова, Г. Мутанов, С. Муханов, О. Усатова, А. Razaque СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СЕТЕВОЙ АКТИВНОСТИ И ОБНАРУЖЕНИЯ SQL- ИНЪЕКЦИЙ НА БАЗЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ZABBIX И GRAFANA.....	61
Н.А. Асан, Д.М. Утебаева, А.Е. Касенхан, Л.М. Илипбаева ВНЕДРЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СИСТЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ.....	84
О. Бекмурат, В. Сербин, М. Алиманова, У. Базарбаева ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СУИЦИДАЛЬНЫХ НАКЛОННОСТЕЙ ПОДРОСТКОВ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА.....	100
А. Белоощицкий, Ю. Андрашко, А. Кучанский, А. Нефтисов, М. Гладка МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОПЕРАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТЕПЛИЧНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ НОВЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР.....	115
Э. Гайсина, А. Кубашева, А. Кумарғалиева, Г. Дашева, Р. Schmidt ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПРИНЯТИЕ ОНЛАЙН-ПЛАТФОРМ ОБУЧЕНИЯ, С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	133
Ш. Ележанова, Х. Кутуку, Ш. Коданова, А. Кубашева, Ж. Аманбаева ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ В ОБРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИИ О СОТРУДНИКАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ DuckDB и ChromaDB.....	145
А.К. Калдарова, М.А. Васкес РАСШИРЕНИЕ СЛОВАРНОГО ЗАПАСА У СТУДЕНТОВ: ВЛИЯНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ ОБУЧАЮЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ НА ОСНОВЕ WORDWALL.....	173
К.В. Колесникова, А.В. Нефтисов, И.М. Казамбаев, Т.М. Олех, Ж. Абдибаев, МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИНТЕГРАЦИИ ДАННЫХ В УПРАВЛЕНИИ ТРАНСГРАНИЧНЫМИ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ.....	186



Л. Курмангазиева, О. Финдик, В. Махатова, Д. Кудабасева, А. Маратулы СВЕРТОЧНАЯ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ И ОТСЛЕЖИВАНИЯ СМЕЩЕНИЙ ОБЪЕКТОВ.....	202
Г.М. Мауина, Б.Е. Таныкпаева, А.У. Есиркепова, Г.Ж. Өтеген, Х.М. Рай ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ АГРОПРОМЫШЛЕННОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕ НИЯ.....	222
К.К. Мырзабек, А.Б. Хасен, Ш.М.У. Хан АНАЛИЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕРОЯТНОСТНЫХ АВТОМАТОВ С ВРЕМЕННЫМИ ОГРАНИЧЕНИЯМИ.....	238
М.К. Рыспаева, О.С. Салыкова ГЕНЕРАЦИЯ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ GAN ДЛЯ РЕДКИХ ПАТОЛОГИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРАНСФЕРНОГО ОБУЧЕНИЯ И ВЕСОВ RADIMA GENET.....	254
Б. Синчев, А. Синчев, Н. Бахтгерейулы, А. Муханова РАЗРЕШИМОСТЬ ПРОБЛЕМЫ ТЫСЯЧЕЛЕТИЯ P ПРОТИВ NP.....	270
М.У. Сулейменова, Д.М. Мухаммеджанова, А.С. Бижанова ДИАГНОСТИКА КОЖИ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И ОПТИМИЗАЦИЯ УХОДА ЗА НЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ...278	
А.Б. Тлеубаев, С.Е. Керимкулов, А. Адалбек, Ж.С. Асанова, К.Д. Кулиев ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ ПРОЦЕССА АНАЛИТИЧЕСКОЙ ИЕРАРХИИ.....	289
М. Уразгалиева, Х.И. Бюльбюль, Б. Утенова, А. Майлыбаева, А. Муханбеткалиева РАЗРАБОТКА И ОБУЧЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ АВТОКОДИРОВЩИКА ДЛЯ КОЛОРИЗАЦИИ ВИЗУАЛЬНЫХ ДАННЫХ.....	303
Р.К. Ускенбаева, Ж.Б. Кальпеева, А.Н. Молдагулова, А.Б. Касымова, Р.Ж. Сатыбалдиева КРЕДИТНЫЙ СКОРИНГ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ И ИМПОРТЕРОВ.....	323

CONTENTS

A.E. Abdualiyev, G.K. Sembina OPTIMIZATION OF REGIONAL BUDGET ALLOCATION USING GENETIC ALGORITHM AND BAYESIAN HYPERPARAMETER OPTIMIZATION.....	8
A. Alzhanov, K. Rakhymbek, A. Nugumanova IMPROVING ROBUSTNESS IN AI FLOOD FORECASTING VIA BLOCKCHAIN-INSPIRED CONSENSUS MODELS	24
A.Z. Aitmagambetov, S.Zh. Zhumagali, A.S. Inchin, S.M. Trepashko DEVELOPMENT AND TESTING OF A STAND FOR EVALUATING THE ENERGY CONSUMPTION OF NAVIGATION SEAL MODULES.....	45
S. Amanzholova, G. Mutanov, S. Mukhanov, O. Ussatova, A. Razaque AI-POWERED SYSTEM FOR NETWORK ACTIVITY MONITORING AND DETECTION OF SQL INJECTION ATTACKS USING ZABBIX AND GRAFANA.....	61
N. Assan, D. Utebayeva, A. Kassenkhan, L. Ilipbayeva INTRODUCTION OF AI IN EDUCATION SYSTEMS.....	84
O. Bekmurat, V. Serbin, M. Alimanova, U. Bazarbayeva AI-BASED PREDICTION OF ADOLESCENT SUICIDAL TENDENCIES.....	100
A. Biloshchytskyi, Y. Andrashko, O. Kuchanskyi, A. Neftissov, M. Gladka DECISION-MAKING MODEL FOR GREENHOUSE AGRICULTURAL ENTERPRISE OP- ERATIONS IN THE CASE OF CULTIVATING NEW AGRICULTURAL CROPS.....	115
E. Gaisina, A. Kubasheva, A. Kumargaliyeva, G. Dasheva, P. Shmidt INVESTIGATING FACTORS INFLUENCING THE ADOPTION OF ONLINE LEARNING PLATFORMS FROM AN INFORMATION TECHNOLOGY PERSPECTIVE.....	133



Sh. Yelezhanova, H. Kutucu, Sh. Kodanova, A. Kubasheva, Zh. Amanbayeva APPLICATION OF INTELLIGENT DATA ANALYSIS METHODS TO EMPLOYEE INFORMATION PROCESSING USING DuckDB and ChromaDB.....	145
A.K. Kaldarova, M.A. Vasquez ENHANCING VOCABULARY ACQUISITION IN STUDENTS: THE IMPACT OF WORD-WALL-BASED INTERACTIVE LEARNING TOOLS.....	173
K.V. Kolesnikova, A.V. Neftissov, I.M. Kazambayev, T.M. Olekh, Zh. Abdibayev, METHODOLOGICAL APPROACH TO DATA INTEGRATION IN TRANSBOUNDARY WATER RESOURCES MANAGEMENT.....	186
L. Kurmangazyeva, O. Findik, V. Makhatova, D. Kudabayeva, A. Maratuly CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK FOR RECOGNITION AND TRACKING OF OBJECT DISPLACEMENTS.....	202
G. Mauina, B. Tanykpayeva, A. Yessirkepova, G. Otegen, H.M. Rai EVALUATION OF EXTERNAL FACTORS ON AGROINDUSTRIAL EFFICIENCY INDICATORS USING MACHINE LEARNING METHODS.....	222
K. Myrzabek, A. Khassen, S. Khan PROBABILISTIC TIMED AUTOMATA ANALYSIS OF AIR TRAFFIC CONTROL SYSTEMS...	238
M.K. Ryspayeva, O.S. Salykova GAN-BASED MEDICAL IMAGE GENERATION FOR RARE PATHOLOGIES USING TRANSFER LEARNING AND RADIMAGENET WEIGHTS.....	254
B. Sinchev, A. Sinchev, N. Bakhtgereiuly, A. Mukhanova SOLVABILITY OF THE MILLENNIUM PROBLEM: P VS NP.....	270
M.U. Suleimenova, D.M. Mukhammejanova, A.S. Bizhanova AI-BASED SKIN DIAGNOSTICS AND SKINCARE OPTIMIZATION USING MACHINE LEARNING.....	278
A.B. Tleubayev, S.E. Kerimkhulle, A. Adalbek, Z.S. Assanova, K.D. Kuliev AN INTELLIGENT APPROACH TO EVALUATING AGRICULTURAL MACHINERY BASED ON THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS.....	289
M. Urazgaliyeva, H.İ. Bülbül, B. Utenova, A. Mailybayeva, A. Mukhanbetkaliyeva DEVELOPMENT AND TRAINING OF A NEURAL NETWORK AUTOENCODER MODEL FOR VISUAL DATA COLORIZATION.....	303
R.K. Uskenbayeva, Zh.B. Kalpeyeva, A.N. Moldagulova, A.B. Kassymova, R.Zh. Satybaldiyeva MACHINE LEARNING-BASED CREDIT SCORING FOR MANUFACTURERS AND IMPORTERS.....	323

DECISION-MAKING MODEL FOR GREENHOUSE AGRICULTURAL ENTERPRISE OPERATIONS IN THE CASE OF CULTIVATING NEW AGRICULTURAL CROPS

A. Biloshchytskyi¹, Y. Andrashko², O. Kuchanskyi¹, A. Neftissov¹, M. Gladka³*

¹Astana IT University, Republic of Kazakhstan, Astana;

²Uzhhorod National University, Ukraine, Uzhhorod;

³Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine, Kyiv;

E-mail: a.b@astanait.edu.kz

Biloshchytskyi Andrii — Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Science and Innovation, Astana IT University, Astana, 010000, The Republic of Kazakhstan

E-mail: a.b@astanait.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-9548-1959>;

Andrashko Yurii — PhD, Assistant professor, Department of System Analysis and Optimization Theory, Uzhhorod National University, Uzhhorod, 88000, Ukraine

E-mail: yurii.andrashko@uzhnu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0003-2306-8377>;

Kuchanskyi Oleksandr — Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Computational and Data Science, Astana IT University, Astana, 010000, The Republic of Kazakhstan

E-mail: kuchanskyi.o@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1277-8031>;

Neftissov Alexandr — engineer of automated control systems and technical equipment, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan

E-mail: deluxx47@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3549-8393>;

Myroslava Gladka — PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Information Systems and Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, 01033, Ukraine

E-mail: miragladka@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5233-2021>.

© A. Biloshchytskyi, Y. Andrashko, O. Kuchanskyi, A. Neftissov, M. Gladka

Abstract. A decision-making model has been developed for greenhouse enterprise operations, which includes: a mathematical model for crop yield forecasting based on meteorological indicators and greenhouse microclimate; a greenhouse control model that optimizes temperature, humidity, CO₂ levels, and resource consumption; and an optimization model for crop selection that accounts for economic, environmental, and ag-

ronomic factors. Particular attention is given to the cultivation of new crops (specifically bananas), which represents a novel direction for the southern regions of the Republic of Kazakhstan. The models were verified using real data from a banana greenhouse. Simulation results demonstrate a 19 % increase in yield and over 21% growth in profit under optimized management compared to traditional strategies. The proposed approach involves the use of an IoT sensor network, digital monitoring platforms, and artificial intelligence algorithms for adaptive control of the greenhouse microclimate and resource usage. The developed model supports informed managerial decision-making, enhances the efficiency of water and energy use, minimizes environmental impact, and promotes the sustainable development of greenhouse agriculture in regions with extreme climatic conditions.

Keywords: greenhouse agriculture, greenhouse microclimate, yield forecasting, artificial intelligence (AI), precision agriculture

For citation: A. Biloshchytskyi, Y. Andrashko, O. Kuchanskyi, A. Neftissov, M. Gladka. Decision-making model for greenhouse agricultural enterprise operations in the case of cultivating new agricultural crops//International journal of information and communication technologies. 2025. Vol. 6. No. 23. Pp. 115–132. (In Eng.). <https://doi.org/10.54309/IJICT.2025.23.3.007>.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

ЖАҢА АУЫЛШАРУАШЫЛЫҚ DAҚЫЛДАРЫН ӨCІРУ БОЙЫНША ЖЫЛЫЖАЙ АУЫЛШАРУАШЫЛЫҚ КӘCПОРЫНДАРЫНЫҢ ОПЕРАЦИЯЛЫҚ ҚЫЗМЕТІНЕ ШЕCІМ ҚАБЫЛДАУ ҮЛГІCІ

А. Белощицкий^{1}, Ю. Андрашко², А. Кучанский¹, А. Нефтисов¹,
М. Гладка³*

¹Astana IT University, Астана, Қазақстан;

²Ужгород ұлттық университеті, Ужгород, Украина;

³Тарас Шевченко атындағы Киев ұлттық университеті, Киев, Украина.

E-mail: a.b@astanait.edu.kz

Белощицкий Андрей — техника ғылымдарының докторы, профессор, ғылым және инновация жөніндегі проректор, Astana IT University, Астана, Қазақстан
E-mail: a.b@astanait.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-9548-1959>;

Андрашко Юрий — техника ғылымдарының кандидаты, доцент, жүйелік талдау және оңтайландыру теориясы департаментінің доценті, Ужгород ұлттық университеті, Ужгород, Украина
E-mail: yurii.andrashko@uzhnu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0003-2306-8377>;

Кучанский Александр — техника ғылымдарының докторы, профессор, есептеулер және деректер ғылымы департаментінің профессоры, Astana IT University, Астана, Қазақстан
E-mail: kuchanskyi.o@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1277-8031>;

Нефтисов Александр — «Технологиялық процесті басқарудың автоматтандырылған жүйелерінің» инженері, Павлодар, Қазақстан
E-mail: deluxx47@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3549-8393>;

Мирослава Гладка — техника ғылымдарының кандидаты, доцент, ақпараттық жүйелер және технология кафедрасының доценті, Тарас Шевченко атындағы Киев ұлттық университеті, Киев, Украина
E-mail: miragladka@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5233-2021>.

© А. Белощицкий, Ю. Андрашко, А. Кучанский, А. Нефтисов, М. Гладка

Аннотация. Авторлар жылыжай кәсіпорындарының операциялық қызметін басқаруға арналған шешім қабылдау үлгісін әзірледі. Ол мынадай компоненттерді қамтиды: метеорологиялық көрсеткіштер мен жылыжай микроклиматы параметрлеріне негізделген өнімділікті болжаудың математикалық үлгісі; температураны, ылғалдылықты, CO₂ деңгейін және ресурс тұтынуды оңтайландыратын жылыжайды басқару үлгісі; сондай-ақ экономикалық, экологиялық және агрономиялық факторларды ескеретін дақыл тандау үлгісі. Жаңа дақылдарды (атап айтқанда, банандарды) өсіруге ерекше ден қойылған, бұл Қазақстан Республикасының оңтүстік аймақтары үшін инновациялық бағыт. Үлгілер банан өсірілетін жылыжайдан алынған нақты деректер негізінде верификацияланды. Үлгінің нәтижелері өнімділіктің 19 %-ға артуын және дәстүрлі стратегиялармен салыстырғанда оңтайландырылған басқару кезінде пайданы 21 %-дан астамға өсіруді көрсетті. Ұсынылған тәсіл IoT-датчиктер желісін, цифрлық мониторингтік платформаларды және жылыжай микроклиматы мен ресурс тұтынуды бейімдеп басқаруға арналған жасанды интеллект алгоритмдерін пайдалануға негізделген. Әзірленген үлгі басқарушылық шешімдерді ғылыми негіздеуге, су мен энергияны пайдалану тиімділігін арттыруға, қоршаған ортаға теріс әсерді азайтуға және экстремалды климаттық жағдайлары бар өңірлерде жылыжай шаруашылығының орнықты дамуына ықпал етеді.

Түйін сөздер: жылыжай шаруашылығы, жылыжай микроклиматы, өнімділікті болжау, жасанды интеллект (ЖИ), дәлме-дәл егіншілік

Дәйексөздер үшін: А. Белощицкий, Ю. Андрашко, А. Кучанский, А. Нефтисов, М. Гладка. Жаңа ауылшаруашылық дақылдарын өсіру бойынша жылыжай ауылшаруашылық кәсіпорындарының операциялық қызметіне шешім қабылдау үлгісі//Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы. 2025. Том. 6. № 23. 115–132 бет. (Ағыл). <https://doi.org/10.54309/IJICT.2025.23.3.004>.

Мүдделер қақтығысы: Авторлар осы мақалада мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОПЕРАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТЕПЛИЧНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ НОВЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

А. Белощицкий^{1}, Ю. Андрашко², А. Кучанский¹, А. Нефтисов¹,
М. Гладка³*

¹Астана ИТ университет, Астана, Казахстан;

²Ужгородский национальный университет, Ужгород, Украина;

³Киевский национальный университет имени Тараса Шевченка, Киев,
Украина.

E-mail: a.b@astanait.edu.kz

Белощицкий Андрей — доктор технических наук, профессор, проректор по науке и инновациям, Астана ИТ университет, Астана, Казахстан
E-mail: a.b@astanait.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-9548-1959>;

Андрашко Юрий — кандидат технических наук, доцент, доцент департамента системного анализа и теории оптимизации, Ужгородский национальный университет, Ужгород, Украина
E-mail: yurii.andrashko@uzhnu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0003-2306-8377>;

Кучанский Александр — доктор технических наук, профессор, профессор департамента вычислений и науки о данных, Astana IT University, Астана, 010000, Республика Казахстан
E-mail: kuchanskyi.o@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1277-8031>;

Нефтисов Александр — инженер «Автоматизированных систем управления технологическим процессом», Павлодар, 140000, Республика Казахстан
E-mail: deluxx47@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3549-8393>;

Гладка Мирослава — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных систем и технологий, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченка, Киев, Украина
E-mail: miragladka@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5233-2021>.

© А. Белощицкий, Ю. Андрашко, А. Кучанский, А. Нефтисов, М. Гладка

Аннотация. Авторами разработана модель принятия решений для управления операционной деятельностью тепличных предприятий, включающая: математическую модель прогнозирования урожайности на основе метеорологических показателей и параметров микроклимата теплицы; модель управления теплицей, оптимизирующая температуру, влажность, уровень CO₂ и потребление ресурсов; а также модель оптимизации выбора культур с учётом экономических, экологических и агрономических факторов. Особое внимание уделено возделыванию новых культур (в частности, бананов), что представляет собой инновационное направление для южных регионов Респу-

блики Казахстан. Модели были верифицированы на основе реальных данных, полученных в теплице по выращиванию бананов. Результаты моделирования продемонстрировали увеличение урожайности на 19 % и рост прибыли более чем на 21 % при оптимизированном управлении по сравнению с традиционными стратегиями. Предлагаемый подход основан на использовании сети IoT-датчиков, цифровых платформ мониторинга и алгоритмов искусственного интеллекта для адаптивного управления микроклиматом теплицы и ресурсопотреблением. Разработанная модель обеспечивает обоснованную поддержку управленческих решений, повышает эффективность использования воды и энергии, снижает негативное воздействие на окружающую среду и способствует устойчивому развитию тепличного сельского хозяйства в регионах с экстремальными климатическими условиями.

Ключевые слова: тепличное сельское хозяйство, микроклимат теплицы, прогнозирование урожайности, искусственный интеллект (ИИ), точное земледелие

Для цитирования: А. Белощицкий, Ю. Андрашко, А. Кучанский, А. Нефтисов, М. Гладка. Модель принятия решений для операционной деятельности тепличных сельскохозяйственных предприятий при возделывании новых сельскохозяйственных культур//Международный журнал информационных и коммуникационных технологий. 2025. Т. 6. No. 23. Стр. 115–132. (На англ.). <https://doi.org/10.54309/IJICT.2025.23.3.007>.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Introduction

An important direction for improving the efficiency of agricultural practices and implementing Climate-Smart Agricultural Practices is the transfer of agro-system deployment experience from one region to another. This is particularly relevant for areas with extreme climatic conditions, as the introduction of any precision agriculture system involves significant costs and high risks. One way to mitigate these risks is by establishing experimental greenhouse farms to study the efficiency and productivity of new or existing agricultural crops under such challenging conditions.

Some agricultural enterprises are transforming their production approaches by experimenting with crops not previously cultivated in their respective regions, for example, exotic fruits such as bananas, pineapples, and mangoes. Notably, in the southern region of the Republic of Kazakhstan, specifically in the Turkestan region, greenhouse banana cultivation has been initiated for the first time on approximately 5 hectares of land to supply the domestic market (Banana harvest continues in Kazakhstan's greenhouses, 2025). This region is characterized by a sharply continental climate, with hot summers and cold winters.

The concept of year-round crop production through the control of greenhouse microclimate parameters: such as temperature, humidity, light intensity, and CO₂ con-

centration, has been presented in (Badji et al., 2022). However, this work did not consider soil moisture monitoring, which is essential for implementing Climate-Smart Agricultural Practices. In sharply continental climates, optimal temperatures inside greenhouses can still be achieved through integrated heating systems, as discussed in (Choab et al., 2019: 109–137).

Managing greenhouse microclimates is a complex task due to numerous interrelated variables (Voogt et al., 1997: 151–156; Robles et al., 2017). The greenhouse environment is a highly nonlinear system, and ensuring compliance with CSAP further complicates the task. In (Noma et al., 2024), technological tools and AI-based algorithms are proposed to support future farmer decision-making regarding crop yield prediction. However, these tools are not integrated into a unified system that ensures both high productivity and environmental sustainability.

A decision support system for technology transfer in agriculture is described in (Jones et al., 2003: 235–265), aimed at evaluating and applying crop models for different purposes. A limitation of this system is that due to climate change, parameters previously used for cultivating crops may no longer be applicable. The authors of (Neftissov et al., 2024: 84–94) present successful cases of precision agriculture technology transfer, particularly intelligent irrigation practices. Studies (Neftissov et al., 2024: 6–13; Chen et al., 2025) have focused on evaluating precision agriculture techniques in Kazakhstan's sharply continental climate based on agronomic data from Ukraine. However, these works lack detailed parameter configurations necessary for achieving maximum crop efficiency.

In Kazakhstan's challenging climatic zones, greenhouse technologies provide a viable solution for effective farming. While works (Mengesha et al., 2025: 74–82; Abdoussalami et al., 2023: 1–23) investigate linear control methods for greenhouse parameters, such methods are only effective under stable conditions and perform poorly under abrupt environmental changes. When focusing on a specific crop, it is essential to tailor greenhouse parameters to the conditions required for that crop. This necessitates examining cultivation practices in other global regions.

For example, (Olivares et al., 2021) reviewed 76 studies from six countries (China, India, Uganda, Brazil, the Philippines, and Spain) and concluded that there is no systematic review specifically addressing the impacts of climate change on banana crops. The expanding cultivation range of bananas due to rising global temperatures has been documented (Shivashankara et al., 2020: 183–193). However, temperature variability, especially large diurnal swings, negatively affects photosynthesis and increases the risk of sunburn on banana fruits (Nakato et al., 2019: 49–59). Moreover, bananas are water-intensive crops, and insufficient irrigation reduces disease resistance (Factsheets on the 21 SDG Indicators under FAO Custodianship, 2020). Most existing studies do not include experimental field validation or greenhouse trials, nor do they consider smart agricultural practices tailored for banana cultivation.

According to the Food and Agriculture Organization, the global demand for food will increase by approximately 50 % by 2050 (Qin et al., 2022). In southern Ka-

zakhstan, water scarcity is becoming more acute each year. Studies (Qi et al., 2008: 3–14; Altinkaya et al., 2016: 83–90) have shown high energy intensity in agricultural production in this region without proportional increases in yields. Despite numerous studies, current solutions do not offer high-accuracy real-time control over temperature, humidity, or resource consumption. Furthermore, they are insufficient for maximizing crop yields, especially for novel crops.

This gap highlights the necessity of developing decision-making models for greenhouse management. Building a decision-making model for greenhouse agricultural enterprises that align with Climate-Smart Agricultural Practices is therefore a pressing scientific and practical challenge. Such a system should include a mathematical model for crop yield forecasting and a greenhouse control model, particularly for the cultivation of new agricultural crops. Employing such a system is vital not only for enhancing ecosystem sustainability and biodiversity but also for preventing soil salinization in arid regions, such as southern Kazakhstan.

In the long term, this approach contributes to mitigating climate change impacts, including land degradation and desertification, which undermine soil fertility and agricultural potential.

The objective of this study is to develop and validate a decision-making model for managing the operations of a greenhouse agricultural enterprise, particularly in the case of cultivating new agricultural crops.

Materials and methods

Since controlling meteorological parameters is difficult in open-field conditions and the task involves cultivating new exotic crops, it was decided to consider the model in the context of greenhouse agriculture. However, this model can also be applied to open-field conditions. A model has been developed that integrates the characteristics of plant biological growth, environmental physics, and control systems engineering. The following section describes the components of the mathematical model, which covers the key parameters influencing the growth of agricultural crops in a greenhouse.

The first component is the growth and photosynthesis component. Photosynthesis ensures the accumulation of biomass, which is essential for achieving high crop yields. The rate of photosynthesis is determined by the following formula:

$$P_{\text{rate}} = P_{\text{max}} \cdot f_l(I(t)) \cdot f_T(T_{\text{air}}(t)) \cdot f_C(C(t)),$$

where P_{max} is the maximum potential photosynthetic rate, $f_l(I(t))$ is the light response function, $f_C(C(t))$ is the concentration response function, $f_T(T_{\text{air}}(t))$ is the air temperature response function.

At the same time, the accumulation of dry biomass is defined as the ratio:

$$\frac{dW_b}{dt} = k_{gr} \cdot P_{rate}(t) - R_{resp}(t),$$

where k_{gr} is the coefficient of conversion of photosynthetic energy into bio-

mass, $R_{resp}(t)$ is the rate of biomass loss, $\frac{dW_b}{dt}$ is the accumulation of dry biomass.

Another component of the yield prediction model is the water balance and transpiration component. In this case, the change in soil moisture can be calculated as the ratio:

$$\frac{dM_{soil}}{dt} = I_{ir}(t) - Tr_{rate}(t) - D_{dr}(t) - E_{soil}(t),$$

where $I_{ir}(t)$ is the irrigation rate, $E_{soil}(t)$ is the evaporation of water from the soil surface, $D_{dr}(t)$ is the drainage, and $Tr_{rate}(t)$ is the transpiration rate, which is determined by formula:

$$Tr_{rate}(t) = k_{tr} \cdot L_A(t) \cdot VPD(t) \cdot f_{M_{soil}}(M_{soil}(t)),$$

where k_{tr} is the transpiration coefficient, $VPD(t)$ is the vapor pressure deficit, and $f_{M_{soil}}(M_{soil}(t))$ is the soil moisture response function (which decreases under water deficit).

An important factor for banana cultivation is the biomass partitioning co-

efficient and fruit formation. Fruit formation $\frac{dY_f}{dt}$ is determined by the following formula:

$$\frac{dY_f}{dt} = k_f \cdot P_{rate}(t) \cdot \eta,$$

where k_f is the conversion coefficient of assimilates into fruit mass, and $\eta \in \{0,1\}$, with $\eta=1$ if the plant is in the fruiting phase, and $\eta=0$ otherwise.

The change in leaf area $\frac{dL_A}{dt}$ is calculated as:

$$\frac{dL_A}{dt} = k_L \cdot \frac{dW_b}{dt} - D_{LA} \cdot L_A(t).$$

Depending on the type of agricultural crop, particularly whether the final product is biomass or fruits, each component of the model may influence the yield calculation. To ensure high productivity, it is necessary to select greenhouse parameters that will provide conditions for achieving maximum yield.

The model combines external factors and control factors that influence the establishment of the microclimate inside the greenhouse. In particular, to ensure optimal banana cultivation, a stable air temperature and CO₂ concentration are required, which can be regulated by the control model.

The air temperature in the greenhouse is defined by the following formula:

$$\frac{dT_{\text{air}}}{dt} = C_{\text{air}}^{-1} (Q_s + Q_h - Q_v - Q_t - Q_l),$$

where C_{air} is the heat capacity of the air in the greenhouse, Q_s is the heat from solar radiation, Q_h is the heat from the heating system, Q_v is the heat removed by ventilation, Q_t is the heat removed by plant transpiration, and Q_l is the heat loss through the greenhouse walls.

The concentration of CO₂ over time is defined as the ratio $\frac{d\text{CO}_2}{dt}$:

$$\frac{d\text{CO}_2}{dt} = \frac{1}{V_{\text{air}}} \cdot (R_{\text{soil}} + Q_e - P_{\text{rate}} \cdot M_p - Q_w),$$

where V_{air} is the volume of air in the greenhouse, R_{soil} is CO₂ emissions from the soil, Q_e is the CO₂ supply from the enrichment system, $P_{\text{rate}} \cdot M_p$ is the CO₂ uptake by plants, Q_w is the CO₂ losses through the ventilation system.

The mathematical model may include control system equations that respond to deviations of parameters from given optimal values. These can be logical rules:

1. Heating control. If $T_{\text{air}} < T_s - \Delta T$, then Q_h increases;
2. Irrigation control. If $M_{\text{soil}} < M_s - \Delta M$, then I_{ir} increases;
3. Ventilation control. If $T_{\text{air}} \geq T_s + \Delta T$ or $\text{RH}_{\text{air}} \geq \text{RH}_s - \Delta \text{RH}$, then ventilation is intensified.

Figure 1 illustrates the hierarchical structure of greenhouse control parameters, which are divided into several functional groups: settings (day/night modes), microclimate (temperature, humidity, air circulation), watering (irrigation intervals for day and night), solution unit (nutrient solution temperature, aerator, pressure control), and enclosure. This representation provides a comprehensive overview of the configurable parameters that enable precise adjustment of environmental and technological conditions in automated greenhouse management system.

After building the model, it is necessary to determine the values of the parameters. In general, this can be done based on experimental data; however, in the case of

cultivating new crops, conducting experiments is difficult, and it is necessary to use the results of growing these crops in other greenhouses and different locations. In practice, the parameters need to be adjusted to optimize the conditions for growing agricultural crops with the aim of yield prediction and developing control strategies in the future.

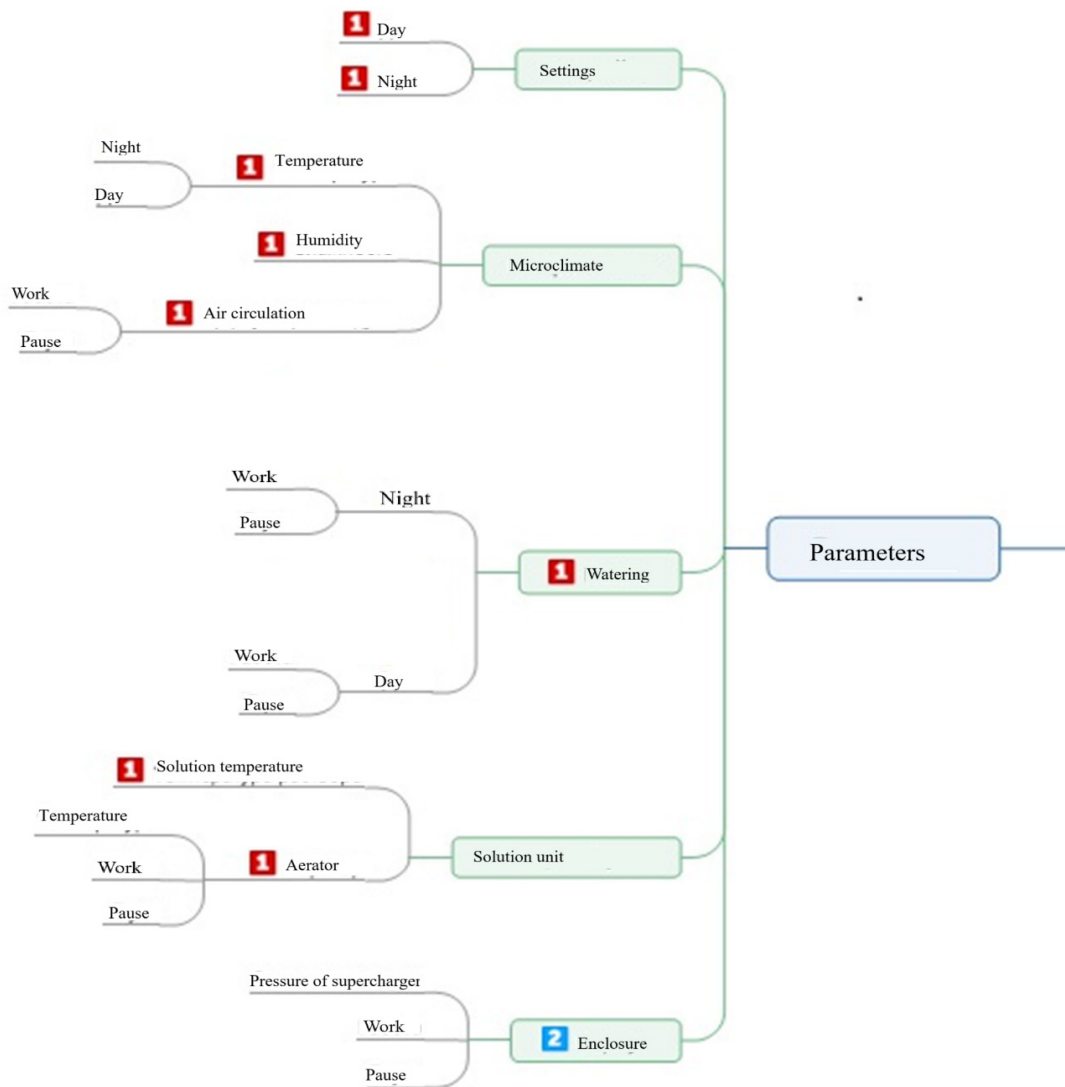


Fig.1. Control parameters of the greenhouse management system.

The IoT system for banana cultivation in a greenhouse consists of key components:

- IoT devices – physical devices that collect environmental data and perform specific actions;

- communication network – ensures data transmission between IoT devices and the central system;
- cloud platform (or local server) – stores, processes, and analyzes the collected data;
- user interface – allows operators to monitor and control the system.

The descriptions of the key system characteristics are presented in Table 1, and Table 2 describes the system of devices.

Table 1. Descriptions of the key characteristics of the IoT system

IoT Device	Purpose	Location
Air temperature sensors	Monitoring and maintaining the optimal temperature regime (for bananas, this is usually 25–30 °C)	Placed at different levels of the greenhouse to ensure uniform control
Air humidity sensors	Monitoring and maintaining optimal humidity (for bananas, this is usually 70–80%)	Placed at different levels of the greenhouse to ensure uniform control
Soil moisture sensors	Measuring soil moisture levels to determine irrigation needs. Prevents over- or under-irrigation	Installed at different depths, taking into account the banana root system
Soil pH sensors	Monitoring soil acidity/alkalinity. Bananas prefer slightly acidic to neutral soil (pH 6.0–7.0)	Installed at different depths, considering the banana root system
Soil EC (electrical conductivity) sensors	Measuring the concentration of nutrients in the soil. Allows optimization of fertilizer supply	Installed at a depth of 10–30 cm from the soil surface
Light sensors (lux meters)	Measuring light intensity. Bananas require a high amount of light (10–12 hours per day)	Placed in positions that account for plant shading
CO ₂ concentration sensors	Monitoring CO ₂ levels in the air. Elevated CO ₂ concentration can accelerate photosynthesis and plant growth	Placed inside the greenhouse

Table 2. Device system

IoT Device	Purpose
Irrigation system (solenoid valves, pumps)	Automatic plant irrigation based on soil moisture sensor data. Can be integrated with a fertigation system (fertilizer delivery with water)
Temperature control system (heaters, fans, shading systems)	Maintaining optimal temperature through automatic activation/deactivation of heaters, fans, or shading curtains
Ventilation system (fans, motorized windows)	Ensuring air circulation and regulating humidity/temperature. Removing excess heat and moisture
Lighting system (LED grow lamps)	Supplemental lighting during periods of insufficient natural light, especially in winter or in regions with low illumination
CO ₂ supply system	Automatic supply of CO ₂ to increase its concentration to the optimal level for photosynthesis

According to the presented algorithm, all monitoring of sensor indicators is carried out periodically in accordance with the time constraints imposed on the system. Since the greenhouse for banana cultivation is not part of critical infrastructure, most parameters can be monitored at intervals ranging from every 10 minutes — for humidity, temperature, and lighting — to several days for measuring soil nutrient content. Set of microcontroller-based hardware modules designed for the implementation of an automated greenhouse management system are presented on figure 2. The units include a power supply, microcontroller boards for data acquisition and control, as well as an interface module for connecting sensors and actuators. Such hardware solutions ensure reliable integration of environmental sensors (temperature, humidity, CO₂, light) with actuators controlling irrigation, ventilation, and climate regulation subsystems. This architecture provides the basis for flexible, scalable, and energy-efficient control of greenhouse processes.

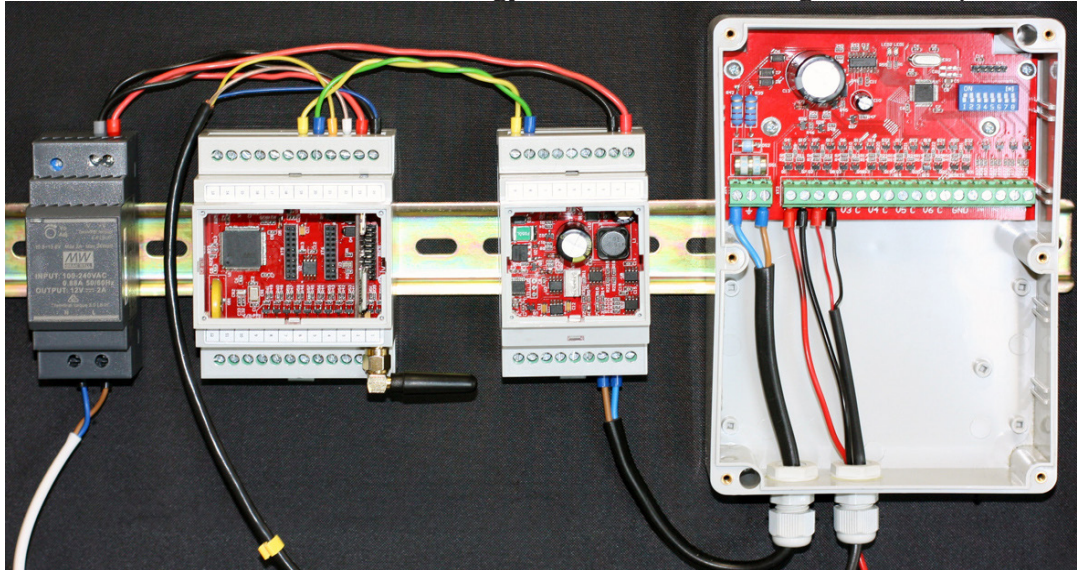


Fig. 2. Microcontroller-based hardware modules for greenhouse control.

Let us consider that the agricultural enterprise has at its disposal a set of greenhouses denoted by G . Each element $g_i \in G$ corresponds to an individual greenhouse, where n is the total number of greenhouses. For each greenhouse, agronomic characteristics are known, including its area and local climatic conditions. The goal of the agricultural enterprise is to organize the production cycle for a given period (for example, one growing season, which for bananas lasts three years) in such a way that one crop from the set of available alternatives C is cultivated in each greenhouse.

Each element $c_j \in C$ corresponds to a specific crop (for example, different varieties of bananas), $j = \overline{1, m}$, where m – number of crops. Each crop has its own agronomic requirements regarding microclimate, water consumption, energy needs, and vegetation period, as well as a specific yield that depends on the interaction with the local microclimate. Thus, the primary decision to be made by the enterprise is the selection of which

crop should be cultivated in each particular greenhouse. This selection must take into account the expected economic effect. The economic effect includes the revenue from product sales, which depends on the crop yield and market price, as well as the costs, which are directly influenced by the chosen crop and the corresponding control actions.

Environmental constraints must also be considered, as the enterprise is required to adhere to the principles of climate-resilient agricultural practices. This means ensuring compliance with minimum efficiency standards for resource consumption and greenhouse gas emissions. In addition, due to limited overall resource availability, the enterprise is subject to constraints on total water and energy expenditures.

Meteorological indicators M_t , $t = \overline{1, T}$, where T is the number of days, this is a vector formed based on the daily weather forecast. They are used as one of the input variables in the greenhouse microclimate control model. Control actions u_t , $t = \overline{1, n}$, are vectors of regulated parameters for each day in the greenhouse, defining how the agricultural enterprise influences the growing conditions. These actions are also considered as input parameters of the greenhouse control model for the cultivation of new agricultural crops. Their values directly affect water and energy consumption, as well as crop yield. The greenhouse control model is a discrete dynamic model that describes how the greenhouse microclimate changes as a result of the current state, control actions, and external environmental conditions. This model allows for the calculation of the expected conditions in the greenhouse under a given control strategy.

The crop yield prediction model based on meteorological indicators defines a function that allows forecasting the yield of a crop c_j depending on the applied control actions. Additionally, based on these control actions, the daily water consumption in the irrigation system $w(u_t)$ and the energy consumption $e(u_t)$ of systems such as lighting, heating, and ventilation are determined. Each greenhouse can be used to cultivate only one crop. Therefore, we introduce binary variables x_{ij} , which take the value 1 if crop c_j is selected for cultivation in greenhouse g_i , and 0 otherwise.

Let us define the objective function as the maximization of the agricultural enterprise's profit

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} \left[p_j Y_j(M_{i0}, M_{i1}, \dots, M_{iT}, u_{i0}, u_{i1}, \dots, u_{iT}) - \sum_{t=0}^T S_i (p_w w(u_{it}) + p_e e(u_{it})) - S_i o_{ij} \right] \rightarrow \max \quad (1)$$

where p_j is the predicted selling price of the crop c_j , Y_j is the predicted yield of the crop c_j , M_{it} , $t = \overline{1, T}$, are microclimatic conditions in the greenhouse g_i per day t , u_{it} , $t = \overline{1, T}$, is the control actions in the greenhouse g_i per day t , S_i is greenhouse area g_i , $w(u_{it})$ is the water consumption in the greenhouse g_i per day t , $e(u_{it})$ is the energy consumption costs in the greenhouse g_i per day t , p_w is the cost 1 m^3 of water, p_e is the cost 1 kWh of energy, o_{ij} is the other cultivation-related costs c_j in greenhouse g_i ,

in particular, for seeds, fertilizers, and plant protection products.

We also define the constraints. Since only one crop can be cultivated in each greenhouse, the mutual exclusivity constraint can be formulated as follows:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1, i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

where $x_{ij} \in \{0, 1\}$ are variables, n is the number of greenhouses.

The following constraint sets a limit on the total expenditures of the enterprise for irrigation, lighting, heating, and ventilation over the entire cultivation period

$$\sum_{i=1}^n \sum_{t=0}^T S_i (p_w w(u_{it}) + p_e e(u_{it})) \leq B, \quad (3)$$

where B is the enterprise energy budget, S_i is the greenhouse area g_i , $w(u_{it})$ is the water consumption in the greenhouse g_i per day t , $e(u_{it})$ is the energy consumption costs in the greenhouse g_i per day t , p_w is the cost 1 m^3 of water, p_e is the cost 1 kWh of energy.

The proposed model is an integrated nonlinear optimization problem that combines agronomic, economic, and environmental factors related to the operation of a greenhouse agricultural enterprise. Through the full integration of crop yield prediction models, climate control mechanisms, and resource consumption estimations, this model can serve as the core of a recommendation-based information system for decision-makers—specifically, for farm managers responsible for production cycle planning and resource allocation.

For practical implementation within an enterprise, the model can be deployed as a digital module of a decision support system integrated with a database of sensor data, weather forecasts, and regulatory resource consumption standards. This enables the generation of actionable recommendations for decision-making. Given that the model involves a mixed set of variables and nonlinear dependencies, it can be solved using approximate methods such as genetic algorithms or tabu search.

Results and discussion

To confirm the practical effectiveness of the proposed optimization model, a simulation experiment was conducted using actual data from an automated greenhouse microclimate control system in which bananas are cultivated. For model validation, two scenarios were simulated. In the first scenario, which served as the baseline, a fixed set of control actions with an intensity level of 3 was applied, representing a typical manual management strategy. In the second scenario, the control actions were adjusted daily according to the optimization strategy derived from the proposed model. In both cases, the predicted crop yield, water and energy consumption, and overall profit were calculated based on a predefined formula (1), which considers the selling price, resource costs, and agricultural production requirements (see Table 3). It is important to note the limitations of the experiment. It was assumed that only artificial

LED lighting was used, and the greenhouse was isothermal. Heat exchange with the external environment was modeled as a linear function of the temperature difference.

Table 3. Simulation results

Indicator	Baseline Scenario	Optimized Scenario
Predicted Yield (tons per square meter)	14.2	16.9
Water and Energy Costs, \$	468	435
Other Agricultural Costs, \$	400	400
Revenue from Sales, \$	2,580	3,080
Expected Profit, \$	1,712	2,245

The results of the simulation experiment are summarized in Table 1. The data indicates that the application of the optimized model allows for an increase in expected profit of more than 21 % compared to the fixed control strategy. Additionally, a reduction in total costs was observed, indicating more efficient resource use. Thus, the experiment confirms that the proposed model can serve as an effective tool for supporting decision-making in greenhouse production, particularly within digital systems for crop monitoring and optimization.

The simulation obtained demonstrates significant advantages over existing greenhouse climate control approaches. In a previous study (Altinkaya et al., 2016: 83–90) dedicated to optimizing ventilation systems, energy consumption was reduced by 12 to 15 %; however, that study did not address yield modeling or economic optimization. Another study (Wang et al., 2023) applied fuzzy logic to control the microclimate of a tomato greenhouse and achieved an 8.7 percent increase in yield and a 9.3 % reduction in water consumption. However, those approaches focused only on controlling individual environmental parameters without considering economic criteria or the specific needs of cultivating new crops.

In contrast, our study integrates yield forecasting models, microclimate optimization, and economic evaluation. As a result, we achieved a 19 percent increase in yield and a 21 % increase in profit (Table 1), while water consumption was reduced by 7 percent. This integrated approach provides more comprehensive and adaptive management of greenhouse production under industrial conditions.

A systematic review (Abdoussalami et al., 2023: 1–23) has shown that climate change is expanding the potential geographic range for banana cultivation. However, large daily temperature fluctuations negatively affect photosynthesis and cause crop losses of 15 to 25 % in open-field conditions. In our study, the application of a microclimate optimization model helped mitigate these risks. Temperature and humidity control in the greenhouse ensured stable yields and prevented losses typically associated with open-field cultivation. This demonstrates the effectiveness of the proposed decision-making system for adapting to extreme climatic conditions and growing new crops.

One limitation of the study is that the mathematical model for crop yield forecasting based on greenhouse microclimate involves a large number of parameters that must be individually adjusted. This calibration must be done for each crop type



separately, considering the specific variety, and requires the involvement of agronomy experts. This challenge becomes especially complex when cultivating new crops, such as bananas, in regions with sharply continental climates.

Given that the greenhouse environment is a complex and nonlinear system, solving the optimization problem (1)–(3) requires the use of approximate nonlinear optimization methods. These methods do not guarantee the identification of a global optimum but can provide a locally optimal solution. Therefore, obtaining an optimal solution does not imply that a business operating under this model will achieve maximum efficiency.

Another limitation is that the study simulated the operations of a greenhouse enterprise based on the cultivation of a crop that is new to the Republic of Kazakhstan. Since the cultivation of this agricultural crop was only initiated in Kazakhstan last year, the developed control model has not yet been applied in real-world operations. The model has been developed as part of a research and practical project, with real-world implementation planned for the following year. Therefore, in the future, we aim to validate the decision-making model for greenhouse enterprise management under real operating conditions.

Conclusions

A mathematical model has been developed for predicting the yield of agricultural crops based on meteorological indicators in field conditions and microclimate parameters in greenhouses. The model includes components for evaluating photosynthesis and crop growth, water balance and transpiration, nutrient uptake rate, as well as biomass partitioning and fruit formation. The model enables yield forecasting of fruits in greenhouse conditions based on a set of parameters that can be adjusted depending on the crop being cultivated. In particular, such a model can be applied when cultivating new varieties or new agricultural crops that have not previously been grown in a specific location.

A greenhouse management model has been developed for cultivating new agricultural crops, which describes how external and control factors influence the microclimate parameters inside the greenhouse. This is important for ensuring optimal conditions for crop cultivation and achieving high yield performance. The described model forms the basis for building a decision-making model for greenhouse agricultural enterprises, taking into account climate-oriented agricultural practices.

A decision-making model has been developed for the operations of a greenhouse agricultural enterprise. It allows for a justified selection of the crop to be cultivated in each greenhouse, considering its agronomic requirements, predicted yield, water and energy consumption, as well as ecological constraints in line with the principles of sustainable agriculture. The model provides simultaneous optimization of crop structure and microclimate management strategy, formalized as a nonlinear mixed-variable problem. The proposed approach is suitable for implementation within a digital advisory decision-support information system for farm managers, with the possibility of integration with sensor monitoring data, weather forecasts, and re-

source provision standards. Given the complexity of the model, it is advisable to use approximate algorithms, such as genetic algorithms or metaheuristics like simulated annealing, which make it possible to efficiently find acceptable solutions under real production conditions. Simulation results show that applying the optimized model increases expected profit by more than 21 % compared to a fixed management strategy. Water consumption was reduced by 7 %, and yield increased by 19 %. Thus, overall costs are reduced, which indicates more efficient resource utilization.

Funding. *The paper was written within the state order for the implementation of the scientific program under the budget program in the Republic of Kazakhstan 217 “Development of Science”, subprogram 101 “Program-targeted funding of the scientific and/or technical activity at the expense of the national budget” on the theme: AP19678730 Development of precision farming information technology for agricultural management using “The Internet of Things”.*

REFERENCES

- Abdoussalami, Andlia, Hu, Zhenghua, Islam, Abu & Wu, Zhurong (2023). Climate change and its impacts on banana production: a systematic analysis [Text] // Environment Development and Sustainability. — 2023. — 25. — 1–23. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03168-2>
- Altinkaya, L., Balkic, R., & Gubbuk, H. (2016). Effects of different climate control techniques on greenhouse banana production in Mediterranean climate [Text] // Acta Horticulturae. — 2016. — 1139. — 83–90. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1139.83>
- Banana harvest continues in Kazakhstan’s greenhouses (2025). Available online: <https://www.hortidaily.com/article/9703461/banana-harvest-continues-in-kazakhstan-s-greenhouses/> (accessed on 10 April 2025).
- Badji, A., Benseddik, A., Bensaha, H., Boukhelifa, A. & Hasrane, I. (2022). Design, technology, and management of greenhouse: A review [Text] // Journal of Cleaner Production. — 2022. — 373. — 133753. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133753>
- Choab, N., Allouhi, A., El Maakoul, A., Kousksou, T., Saadeddine, S. & Jamil, A. (2019). Review on greenhouse microclimate and application: design parameters, thermal modeling and simulation, climate controlling technologies [Text] // Sol. Energy. — 2019. — 191. — 109–137. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.08.042>
- Chen, S., Liu, A., Tang, F., Hou, P., Lu, Y., & Yuan, P. (2025). A Review of Environmental Control Strategies and Models for Modern Agricultural Greenhouses [Text] // Sensors. — 2025. — 25(5). — 1388. <https://doi.org/10.3390/s25051388>
- FAO. Factsheets on the 21 SDG Indicators under FAO Custodianship. A Highlight of the Main Indicators with the Greatest Gaps in Country Reporting; FAO: — Rome, Italy. — 2020. FAO <https://doi.org/10.4060/ca8958en>
- Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.J., Ritchie, J.T. (2003). The DSSAT cropping system model [Text] // European Journal of Agronomy. — 2003. — 18. — 3–4. — 235–265, [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00107-7](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00107-7)
- Mengsha, K.A., Jin, G, Son, Y. (2025). Comparison of the feedback linearization plus LQR controller and the PID controller for greenhouse indoor climate [Text] // Int. J. Agric. & Biol. Eng. — 2025. — 18(1). — 74–82.
- Noma, F. and Babu, S. (2024). Predicting climate smart agriculture (CSA) practices using machine learning: A prime exploratory survey [Text] // Climate Services. — 2024. — 34. — 100484, <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2024.100484>
- Neftissov, A., Biloshchytskyi, A., Andrashko, Y., Vatskel, V., Toxanov, S., & Gladka, M. (2024). Assessing the efficiency of using precision farming technology and remote monitoring of weather conditions in the activities of agricultural enterprises [Text] // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. — 2024. — 4(13 (130)). — 84–94. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.309028>
- Nakato, G. V., ChristelováP., Were, E., Nyine, M., Coutinho, T. A., DoleželJ., Uwimana, B., Swennen, R. & Mahuku, G. (2019). Sources of resistance in Musa to Xanthomonas campestris pv. musacearum the causal agent of banana xanthomonas wilt [Text] // Plant Pathology. — 2019. — 68(1). — 49–59. <https://doi.org/10.1111/ppa.12945>
- Neftissov, A., Biloshchytskyi, A., Andrashko, Y., Kuchanskyi, O., Vatskel, V., Toxanov, S., & Gladka, M. (2024). Evaluating the effectiveness of precision farming technologies in the activities of agricultural enterprises



[Text] // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. — 2024. — 1(13 (127)). — 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298478>

Olivares, B.O., Rey, J.C., Lobo, D., Navas-Corts, J.A., Gmez, J.A., & Landa, B.B. (2021). Fusarium wilt of bananas: A review of agro-environmental factors in the venezuelan production system affect ing its development [Text] // *Agronomy*. — 2021 <https://doi.org/10.3390/agronomy11050986>

Qin, Y., He, J., Wei, M., & Du, X. (2022). Challenges Threatening Agricultural Sustainability in Central Asia: Status and Prospect [Text] // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. — 2022. — 19(10). — 6200. <https://doi.org/10.3390/ijerph19106200>

Qi, J. & Kulmatov, R. (2008). An overview of environmental issues in Central Asia. *Environmental Problems of Central Asia and Their Economic, Social and Security Impacts*. Springer International Publishing: Dordrecht, The Netherlands. — 2008. — 3–14.

Robles Algarín, C., Callejas Cabarcas, J. & Polo Llanos, A. (2017). Low-cost fuzzy logic control for greenhouse environments with web monitoring [Text] // *Electronics*. — 2017. — 6 (4). — 71. <https://doi.org/10.3390/electronics6040071>

Voogt, J., & Van Weel, P. (2008). Climate control based on stomatal behavior in a semi-closed greenhouse system 'Aircokas' [Text] // *International Workshop on Greenhouse Environmental Control and Crop Production in Semi-arid Regions*. — 2008. — Vol. 797. — Pp. 151–156. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.797.19>

Shivashankara, K.S., Pavithra, K.C., Geetha, G.A., Roy, T.K., Patil, P., Patel, A.N., Shaikh, N.B., Bhaga van, B.V.K. & Menon, R. (2020). Differential response of banana cultivars (*Musa spp.*) to tempera ture-induced changes in fruit quality [Text] // *Fruits*. — 2020. — 75(5). — 183–193. <https://doi.org/10.17660/th2020/75.5.1>

Wang, J., Zhang, X., Chen, J. & Li, Y. (2023). Fuzzy Logic Control of Greenhouse Environment for Tomato Cultivation [Text] // *Water*. — 2023. — 17(3). — 325. <https://doi.org/10.3390/w17030325>

**ХАЛЫҚАРАЛЫҚ АҚПАРАТТЫҚ ЖӘНЕ
КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖУРНАЛЫ**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ИНФОРМАЦИОННЫХ И
КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND
COMMUNICATION TECHNOLOGIES**

Правила оформления статьи для публикации в журнале на сайте:

<https://journal.iitu.edu.kz>

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Собственник: АО «Международный университет
информационных технологий» (Казахстан, Алматы)

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
Мрзабаева Раушан Жалиқызы

НАУЧНЫЙ РЕДАКТОР
Ермакова Вера Александровна

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР
Рашидинов Дамир Рашидинович

КОМПЬЮТЕРНАЯ ВЕРСТКА
Асанова Жадыра

Подписано в печать 15.09.2025.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать - ризограф. 9,0 п.л. Тираж 100
050040 г. Алматы, ул. Манаса 34/1, каб. 709, тел: +7 (727) 244-51-09).

Издание Международного университета информационных технологий
Издательский центр КБТУ, Алматы, ул. Толе би, 59