

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

**ACADEMIC SCIENTIFIC
JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE**

**№2
2026**

ISSN 2518-1726 (Online),
ISSN 1991-346X (Print)



CENTRAL ASIAN ACADEMIC
RESEARCH CENTER



**ACADEMIC SCIENTIFIC
JOURNAL OF COMPUTER
SCIENCE**

2 (358)

APRIL – JUNE 2026

**PUBLISHED SINCE JANUARY 1963
PUBLISHED 4 TIMES A YEAR**

ALMATY, NAS RK

Chief Editor:

MUTANOV Galimkair Mutanovich, doctor of technical sciences, professor, academician of NAS RK, (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506682964>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1423665>

EDITORIAL BOARD:

KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich, (Deputy Editor-in-Chief), Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Advisor to the General Director of the Institute of Information and Computing Technologies of the CS MES RK, Head of the Laboratory (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

MAMYRBAEV Orken Zhumazhanovich, (Academic Secretary), PhD in Information Systems, Deputy Director for Science of the Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55967630400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1774027>

BAIGUNCHEKOV Zhumadil Zhanabaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Institute of Cybernetics and Information Technologies, Department of Applied Mechanics and Engineering Graphics, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506823633>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1923423>

WOICIK Waldemar, Doctor of Technical Sciences (Phys.-Math.), Professor of the Lublin University of Technology (Lublin, Poland), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7005121594>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/678586>

SMOLARJ Andrej, Associate Professor Faculty of Electronics, Lublin polytechnic university (Lublin, Poland), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56249263000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1268523>

KEILAN Alimkhan, Doctor of Technical Sciences, Professor (Doctor of science (Japan)), chief researcher of Institute of Information and Computational Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8701101900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1436451>

KHAIROVA Nina, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Institute of Information and Computational Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=37461441200>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1768515>

OTMAN Mohamed, PhD, Professor of Computer Science Department of Communication Technology and Networks, Putra University Malaysia (Selangor, Malaysia), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56036884700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/747649>

NYSANBAYEVA Saule Yerkebulanovna, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher of the Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55453992600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802041>

USATOVA Olga Alexandrovna, PhD, Associate Professor, Chief Scientific Secretary of the Institute of Information and Computing Technologies of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57204581062>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/JCO-3058-2023>

KAPALOVA Nursulu Aldazharovna, Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory cybersecurity, Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57191242124>,

KOVALYOV Alexander Mikhailovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Applied Mathematics and Mechanics (Donetsk, Ukraine), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/38481396>

MIKHALEVICH Alexander Alexandrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus (Minsk, Belarus), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004159952>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/46249977>

TIGHINEANU Ion Mihailovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician, President of the Academy of Sciences of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

Academic Scientific Journal of Computer Science

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Owner: «Central Asian Academic Research Center» LLP (Almaty).

Certificate № **KZ77VPY00121154** on the re-registration of the periodical printed and online publication of the information agency, issued on **05.06.2025** by the Republican State Institution «Information Committee» of the Ministry of Culture and Information of the Republic of Kazakhstan

Subject area: *information and communication technologies*.

Currently: *included in the list of journals recommended by the CCSES MSHE RK in the direction of «Information and communication technologies».*

Periodicity: *4 times a year.*

<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

© «Central Asian Academic Research Center» LLP, 2026

БАС РЕДАКТОР:

МУТАНОВ Ғалымқайыр Мұтанұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506682964>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1423665>

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ:

КАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрәділұлы, (бас редактордың орынбасары), физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының кеңесшісі, зертхана меңгерушісі (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

МАМЫРБАЕВ Өркен Жұмажанұлы (ғалым хатшы), Ақпараттық жүйелер саласындағы техника ғылымдарының (PhD) докторы, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» директорының ғылым жөніндегі орынбасары (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55967630400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1774027>

БАЙГУНЧЕКОВ Жұмаділ Жаңабайұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Кибернетика және ақпараттық технологиялар институты, Қолданбалы механика және инженерлік графика кафедрасы, Сәтбаев университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506823633>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1923423>

ВОЙЧИК Вальдемар, техника ғылымдарының докторы (физ-мат), Люблин технологиялық университетінің профессоры (Люблин, Польша), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7005121594>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/678586>

СМОЛАРЖ Анджей, Люблин политехникалық университетінің электроника факультетінің доценті (Люблин, Польша), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56249263000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1268523>

КЕЙЛАН Әлімхан, техника ғылымдарының докторы, профессор (ғылым докторы (Жапония)), ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институтының» бас ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8701101900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1436451>

ХАЙРОВА Нина, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институтының» бас ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=37461441200>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1768515>

ОТМАН Мохаммед, PhD, Информатика, Коммуникациялық технологиялар және желілер кафедрасының профессоры, Путра университеті Малайзия (Селангор, Малайзия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56036884700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/747649>

НЫСАНБАЕВА Сауле Еркебұланқызы, техника ғылымдарының докторы, доцент, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институтының» аға ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55453992600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802041>

УСАТОВА Ольга Александровна, PhD, қауымдастырылған профессор, ҚР ҒЖБМ "Ақпараттық және есептеу технологиялары институтының" бас ғалым хатшысы (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57204581062>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/JCO-3058-2023>

КАПАЛОВА Нұрсұлу Алдажарқызы, техника ғылымдарының кандидаты, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты», Киберқауіпсіздік зертханасының меңгерушісі (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57191242124>,

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина Ұлттық Ғылым академиясының академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/38481396>

МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович, техника ғылымдарының докторы, профессор, Беларусь Ұлттық Ғылым академиясының академигі (Минск, Беларусь), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004159952>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/46249977>

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

Academic Scientific Journal of Computer Science

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Меншіктеуші: «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС (Алматы).

Ақпарат агенттігінің мерзімді баспасөз басылымын, ақпарат агенттігін және желілік басылымды қайта есепке қою туралы ҚР Мәдениет және Ақпарат министрлігі «Ақпарат комитеті» Республикалық мемлекеттік мекемесі **05.06.2025** ж. берген № **KZ77VPY00121154** Куәлік.

Тақырыптық бағыты: *ақпараттық-коммуникациялық технологиялар*

Қазіргі уақытта: *«ақпараттық-коммуникациялық технологиялар» бағыты бойынша ҚР БҒМ БҒСБК ұсынған журналдар тізіміне енді.*

Мерзімділігі: *жылына 4 рет.*

<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

© «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС, 2026

Главный редактор:

МУТАНОВ Галимканр Мутанович, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=6506682964>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1423665>

Редакционная коллегия:

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, советник генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК, заведующий лабораторией (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

МАМЫРБАЕВ Оркен Жумажанович, (ученый секретарь), доктор философии (PhD) по специальности «Информационные системы», заместитель директора по науке РГП «Институт информационных и вычислительных технологий» Комитета науки МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=55967630400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1774027>

БАЙГУНЧЕКОВ Жумадил Жанабаевич, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Институт кибернетики и информационных технологий, кафедра прикладной механики и инженерной графики, Университет Сагпаева (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=6506823633>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1923423>

ВОЙЧИК Вальдемар, доктор технических наук (физ.-мат.), профессор Люблинского технологического университета (Люблин, Польша), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=7005121594>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/678586>

СМОЛАРЖ Анджей, доцент факультета электроники Люблинского политехнического университета (Люблин, Польша), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=56249263000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1268523>

КЕЙЛАН Алимхан, доктор технических наук, профессор (Doctor of science (Japan)), главный научный сотрудник РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=8701101900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1436451>

ХАЙРОВА Нина, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=37461441200>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1768515>

ОТМАН Мохамед, доктор философии, профессор компьютерных наук, Департамент коммуникационных технологий и сетей, Университет Путра Малайзия (Селангор, Малайзия), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=56036884700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/747649>

НЫСАНБАЕВА Сауле Еркебулановна, доктор технических наук, доцент, старший научный сотрудник РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=55453992600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802041>

УСАТОВА Ольга Александровна, PhD, ассоциированный профессор, Главный ученый секретарь «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=57204581062>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/JCO-3058-2023>

КАПАЛОВА Нурсулу Алдажаровна, кандидат технических наук, заведующий лабораторией кибербезопасности РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=57191242124>,

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/38481396>

МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович, доктор технических наук, профессор, академик НАН Беларуси (Минск, Беларусь), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=7004159952>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/46249977>

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

Academic Scientific Journal of Computer Science

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Собственник: *ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр» (г. Алматы).*

Свидетельство о постановке на переучет периодического печатного издания, информационного агентства и сетевого издания № **KZ77VRY00121154**. Дата выдачи **05.06.2025**

Тематическая направленность: *информационно-коммуникационные технологии.*

В настоящее время: *вошел в список журналов, рекомендованных КОКШВО МНВО РК по направлению «информационно-коммуникационные технологии».*

Периодичность: *4 раза в год.*

<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

© ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр», 2026

CONTENTS

COMPUTER SCIENCE

Abduraimova B.K., Toleukhan A.B., Sapakova S.Z., Abisheva A.A. Development of early cyberattack detection method using CNN-LSTM for IoT.....	11
Aben A.B., Kazbekova G.N., Baimakhanova A.S., Amanzholova A.B. Classification of birds and drones in the sky using MobileNetV2 model.....	30
Akbarov D., Sembayev T. Quality-aware pose–hand keypoint extraction pipeline for skeleton-based sign language recognition.....	44
Algazy K., Alimzhan Y., Sakan K., Nyssanbayeva S. Lattice-based vector commitments for Verkle trees.....	67
Asylkhan N., Baidrakhmanova M.G. Principles and models of spatial organization of buildings for crop production considering technological and climatic factors.....	87
Basheyeva Zh., Tokesh A., Bekish U., Abdoldinova G. Artificial intelligence for academic project management: a bibliometric analysis and systematic review.....	105
Bekmanova G., Kantureyeva M., Omarbekova A., Zakirova A., Issainova A. Integrating artificial intelligence to evaluate emotions in the learning environment.....	125
Dzhusupbekova G.T., Jangassiyev R.M. Gemini AI integration based on .NET MAUI for education: hybrid architecture and empirical load testing.....	146
Doszhan N.S., Sultanbekova L.Ye., Zhumagali S.Zh., Konysbayev E.K. Modeling and parameter calculation of an emergency response system based on LoRaWAN technology in the high-altitude conditions of the Zailiysky Alatau.....	166
Zhumakhanova A., Kudabayeva R., Akanova K., Myrkanova A. Entropy-normalized multidimensional model for user activity segmentation in Reddit...	180
Karabaliyev Y., Kolesnikova K., Khlevnaya Y. HybridKazASR: a hybrid automatic speech recognition system combining multi-model rover fusion and morpheme-aware language modeling for Kazakh.....	198
Kerimkhulle S.E., Adalbek A., Baizakov N.A., Shodorova N.N. Piecewise logistic and fuzzy modeling of Kazakhstan's GDP dynamics (1990–2024)....	212
Kulakayeva A., Ashurov A., Aitmagambetov A., Ongenbayeva Zh. Development of mathematical models and criteria for the admissibility of orbital maneuvers of spacecraft.....	228

Kulatay A.A., Zhaisanova D.S., Daurenbayeva N.A., Mamanova S.Y., Tolegen M.
Machine learning for personalized learning in gamified edtech platforms:
Aqyl Battle case.....248

Mamyrbayev O., Kurmetkan T.
Enhanced sentiment analysis of e-commerce product reviews using
Luong attention-based Bi-LSTM.....263

Marassulov U.A., Kazbekova G.
TF-IDF-based fake news detection in Kazakh and Russian.....286

Omar A.B., Mussiraliyeva Sh.Zh.
Federated learning: models based on transformer architecture.....302

Rakhimova D., Duisenbekkyzy Zh., Karibayeva A., Eşref A., Ilessova B.
Improving the voice recognition system for children in Kazakh through additional
training (fine-tuning).....317

Sarsembayev M, Urmashev B.
Optimization of the calculation of kinetic equations of combustion processes on GPU
using global memory and shared memory.....335

Symagulov A., Smurygin V., Belousov A., Karypov A., Yunicheva N.R.
Improving the accuracy of crop and weed detection using UAVs in soya fields
through image segmentation.....347

Tashenova Zh., Gabdullin A.R., Abdugulova Zh., Amanzholova Sh., Santeyeva S.
Security evaluation of WPA3 wireless networks under deauthentication
attack scenarios.....368

**Tursunbayeva G.U., Satybalдина D.Zh., Tleuberdin S.T., Tashatov N.N.,
Egamberdiyev E.E.**
Anomaly detection in UAV telemetry systems based on simulation modeling.....391

Tursynova N., Yerimbetova A., Amangeldy N., Zhumabayeva A., Daiyrbayeva E.
Comparative analysis of multilingual transformer models for Kazakh-to-gloss
translation.....414

Shangpeng Lei, Balakayeva G.
Dual-branch physical information neural networks for data center airflow velocity
and thermal modeling.....433

Shynzhigit B.B., Balabekova M.O., Amangeldy T.T., Malik G.J., Balgimbekova U.B.
Automatic brick defects detection by using a CNN-based deep learning model.....449

МАЗМҰНЫ

КОМПЬЮТЕРЛІК ҒЫЛЫМДАР

Абдураимова Б.К., Төлеухан Ә.Б., Сапакова С.З., Абишева А.А. Кибершабулдарды ерте анықтау әдісін CNN-LSTM негізінде дамыту (IoT үшін).....	11
Абен А.Б., Казбекова Г.Н., Баймаханова А.С., Аманжолова Ә.Б. MobileNetV2 моделімен аспандағы құстар мен дрондарды классификациялау.....	30
Ақбаров Д.Р., Сембаев Т.М. Ым тілін тануға арналған дене қалпы мен қолдың негізгі нүктелерін сапаны бақылаумен анықтау әдісі.....	44
Алғазы К.Т., Әлімжан Е.Ж., Сақан Қ.С., Нысанбаева С.Е. Verkle ағаштарына арналған торлық векторлық міндеттемелер.....	67
Асылхан Н., Байдрахманова М.Г. Технологиялық және климаттық факторларды ескере отырып, өсімдік шаруашылығы ғимараттарының кеңістік ұйымдастыру қағидалары мен модельдері.....	87
Башеева Ж., Төкеш Ә., Бекіш Ұ., Абдолдинова Г. Академиялық жобаларды басқарудағы жасанды интеллект: библиометриялық талдау және жүйелі шолу.....	105
Бекманова Г.Т., Кантурсева М.А., Омарбекова А.С., Закирова А.Б., Исайнова А.Н. Оқу ортасындағы эмоцияларды бағалау үшін жасанды интеллектті біріктіру.....	125
Джусупбекова Г.Т., Жангасиев Р.М. Білім беруге арналған .NET MAUI негізіндегі Gemini AI интеграциясы: гибридігі архитектура және эмпирикалық жүктемелік тестілеу.....	146
Досжан Н.С., Султанбекова Л.Е., Жумағали С.Ж., Қонысбаев Е.К. Іле Алатауының биік таулы жағдайында LORAWAN технологиясы негізіндегі жедел әрекет ету жүйесінің параметрлерін модельдеу және есептеу.....	166
Жумаханова А., Қудабаева Р., Ақанова К., Мырқанова А. REDDIT-те пайдаланушы әрекетін сегменттеуге арналған энтропия-нормалданған көп өлшемді модель.....	180
Қарабадиев Е., Колесникова К., Хлевная Ю. HybridKazASR: Rover көпмодельді біріктіру және морфемеге негізделген тілдік модельдеуді пайдаланатын қазақ тілін автоматты тану гибридігі жүйесі.....	198
Керімқұл С.Е., Адалбек А., Байзақов Н.А., Шодорова Н.Н. Қазақстан ЖІӨ динамикасын кезеңдік (Piecewise) логистикалық және бұлдыр модельдеу (1990–2024).....	212

Кулакаева А.Е., Ашуров А.Е., Айтмағамбетов А.З., Онгенбаева Ж.Ж. Ғарыш аппараттарының орбиталық маневрлерінің математикалық модельдері мен рұқсат критерийлерін әзірлеу.....	228
Құлатай А.А., Жайсанова Д.С., Дауренбаева Н.А., Маманова С.Е., Төлеген М. Геймификацияланған edtech платформаларда оқытуды жекелендіруге арналған машиналық.....	248
Мамырбаев Ө.Ж., Құрметқан Т. Луонг назар механизміне негізделген BI-LSTM көмегімен электрондық коммерция өнімдеріне жазылған пікірлерге жетілдірілген сентименттік талдау жасау.....	263
Марасулов У.А., Казбекова Г. Қазақ және орыс тілдеріндегі жалған жаңалықтарды TF-IDF арқылы анықтау.....	286
Омар А.Б., Мусиралиева Ш.Ж. Федеративті оқыту: трансформер архитектурасына негізделген модельдер.....	302
Рахимова Д., Дүйсенбекқызы Ж., Кәрібаева А., Ешref А., Ілесова Б. Қазақ тіліндегі балалар дауысын тану жүйесін қосымша оқыту (Fine-Tuning) арқылы жетілдіру.....	317
Сарсембаев М., Урмашев Б. Global memory және shared memory қолдану арқылы GPU-да жану процестерінің кинетикалық теңдеулерін есептеуді оңтайландыру.....	335
Сымагулов А., Смурыгин В., Белоусов А., Карыпов А., Юничева Н.Р. Соя алқаптарында ҰҰА көмегімен мәдени және арамшөп өсімдіктерін детекттеу сапасын кескіндерді сегменттеу арқылы арттыру.....	347
Ташенова Ж.М., Габдуллин А.Р., Абдугулова Ж.К., Аманжолова Ш.А., Сантеева С.Ә. Деатентификациялау шабуылы сценарийлеріндегі WPA3 сымсыз желілерінің қауіпсіздігін бағалау.....	368
Турсунбаева Г., Сатыбалдина Д., Глеубердин С., Ташатов Н., Эгамбердиев Э. Симуляциялық модельдеу негізінде ұшқышсыз ұшу аппараттарының телеметриялық жүйелеріндегі аномалияларды анықтау.....	391
Турсынова Н., Еримбетова А., Амангелді Н., Жумабаева А., Дайырбаева Э. Қазақ тілінен глосска аудару үшін көптілді трансформерлік модельдердің салыстырмалы талдауы.....	414
Шанпэн Лей, Балакаева Г. Деректер орталығының ауа ағынының жылдамдығына және термиялық модельдеуге арналған екі тармақты физикалық ақпараттық нейрондық желілер.....	433
Шынжігіт Ш.Б., Балабекова М.О., Амангелді Т.Т., Мәлік Г.Ж., Балгимбекова У.Б. Кіріш ақауларын автоматты анықтауда snn негізіндегі терең оқыту моделін пайдалану.....	449

СОДЕРЖАНИЕ

КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ

Абдураимова Б.К., Толеухан А.Б., Сапакова С.З., Абишева А.А. Разработка метода раннего обнаружения кибератак на основе CNN-LSTM для IoT.....	11
Абен А.Б., Казбекова Г.Н., Баймаханова А.С., Аманжолова А.Б. Классификация птиц и дронов в небе с использованием модели MobileNetV2.....	30
Акбаров Д.Р., Сембаев Т.М. Метод получения ключевых точек позы и кистей с контролем качества для распознавания жестового языка.....	44
Алгазы К.Т., Алимжан Е.Ж., Сакан К.С., Нысанбаева С.Е. Решеточные векторные обязательства для Verkle-деревьев.....	67
Асылхан Н., Байдрахманова М.Г. Принципы и модели пространственной организации зданий для растениеводства с учетом технологических и климатических факторов.....	87
Башеева Ж., Токеш А., Бекиш У., Абдолдинова Г. Искусственный интеллект в управлении академическими проектами: библиометрический анализ и систематический обзор.....	105
Бекманова Г.Т., Кантуреева М.А., Омарбекова А.С., Закирова А.Б., Исайнова А.Н. Интеграция искусственного интеллекта для оценки эмоций в учебной среде.....	125
Джусупбекова Г.Т., Джангасиев Р.М. Интеграция Gemini AI на базе .NET MAUI для образования: гибридная архитектура и эмпирическое нагрузочное тестирование.....	146
Досжан Н.С., Султанбекова Л.Е., Жумагали С.Ж., Коньсбаев Е.К. Моделирование и расчет параметров системы экстренного реагирования на базе технологии LoRaWAN в условиях высокогорья Заилийского Алатау.....	166
Жумаханова А., Кудабаева Р., Аканова К., Мырканова А. Энтропийно-нормализованная многомерная модель для сегментации активности пользователей в Reddit.....	180
Карабалиев Е., Колесникова К., Хлевна Ю. HybridKazASR: гибридная система автоматического распознавания казахской речи на основе многомодельного объединения ROVER и морфемно-ориентированного языкового моделирования.....	198
Керимкулов С.Е., Адалбек А., Байзаков Н.А., Шодорова Н.Н. Кусочно-логистическое и нечеткое моделирование динамики ВВП Казахстана (1990–2024).....	212
Кулакаева А.Е., Ашуров А.Е., Айтмагамбетов А.З., Онгенбаева Ж.Ж. Разработка математических моделей и критериев допустимости орбитальных маневров космических аппаратов.....	228

Кулатай А.А., Жайсанова Д.С., Дауренбаева Н.А., Маманова С.Е., Толеген М. Машинное обучение для персонализации обучения на геймифицированных EdTech-платформах: кейс Aqyl Battle.....	248
Мамырбаев О., Курметкан Т. Усовершенствованный анализ тональности отзывов о товарах электронной коммерции с использованием Bi-LSTM на основе механизма внимания Луонга.....	263
Марасулов У.А., Казбекова Г. Выявление ложных новостей на казахском и русском языках TF-IDF-моделями.....	286
Омар А.Б., Мусиралиева Ш.Ж. Федеративное обучение: модели на основе архитектуры трансформеров.....	302
Рахимова Д., Дуйсенбеккызы Ж., Карибаева А., Еҫref А., Илесова Б. Совершенствование системы распознавания голоса детей на казахском языке путем дополнительного обучения (fine-tuning).....	317
Сарсембаев М., Урмашев Б. Оптимизация расчета кинетических уравнений процессов горения на GPU с использованием global memory и shared memory.....	335
Сымагулов А., Смургин В., Белоусов А., Карыпов А., Юничева Н.Р. Улучшение качества детектирования культурных и сорных растений с помощью БПЛА на полях сои с применением сегментации изображений.....	347
Ташенова Ж.М., Габдуллин А.Р., Абдугулова Ж.К., Аманжолова Ш.А., Сантеева С.А. Оценка безопасности беспроводных сетей WPA3 в условиях атаки с деаутентификацией.....	368
Турсунбаева Г., Сатыбалдина Д., Тлеубердин С., Ташатов Н., Эгамбердиев Э. Обнаружение аномалий в телеметрических системах БПЛА на основе симуляционного моделирования.....	391
Турсынова Н., Еримбетова А., Амангелді Н., Жумабаева А., Дайырбаева Э. Сравнительный анализ многоязычных трансформерных моделей для перевода с казахского языка на глоссированное представление.....	414
Шанпэн Лэй, Балакаева Г. Двухветвевые физически информированные нейронные сети для моделирования воздушных потоков и тепловых условий в центрах обработки данных.....	433
Шынжыгит Ш.Б., Балабекова М.О., Амангелды Т.Т., Малик Г.Ж., Балгимбекова У.Б. Использование модели глубокого обучения на основе CNN для автоматического обнаружения дефектов кирпичной кладки.....	449

ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE
ISSN 1991-346X
Volume 2.
Number 358 (2026). 87–104

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1726.428>

IRSTI 67.29.55
UDC 631.2

© **Asylkhan N. ^{1*}, Baidrakhmanova M.G. ², 2026.**

¹S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan;
²NCJSC “Toraighyrov University”, Pavlodar, Kazakhstan.
E-mail: nur.sultan93@yandex.ru (mailto:nur.sultan93@yandex.ru)

PRINCIPLES AND MODELS OF SPATIAL ORGANIZATION OF BUILDINGS FOR CROP PRODUCTION CONSIDERING TECHNOLOGICAL AND CLIMATIC FACTORS

Asylkhan Nursultan — Doctoral Student, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan,
E-mail: nur.sultan93@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0003-8330-5124>;
Baidrakhmanova Meruert — PhD, Senior Lecturer at Toraighyrov University, Astana, Kazakhstan,
E-mail: baidrakhmanova.mg@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5208-0335>.

Abstract. The article examines architectural and spatial solutions for controlled environment agriculture buildings (greenhouses, phytotrons, vertical farms) considering climatic zones and technological requirements. The relevance is driven by the need to enhance food security in extreme climate regions and the transition to resource-saving automated agrotechnologies. The aim is to develop principles of spatial organization adaptable to three main climatic scenarios: temperate, arid, and cold. The methodological framework includes comparative analysis of regulatory documents (SNiP RK 3.02-17-2008, SP 107.13330.2012, Construction Code of RK 2026), review of international and national studies, and simulation of thermal and light regimes using standardized thermotechnical methods. The key principles formulated are climate-conditioned modularity, multilayer transformable building envelopes, and hybrid functional zoning. Three basic spatial models are proposed: compact thermal model (for cold climates), dispersed light-transmitting model (for arid climates), and multi-tier vertical model (for niche high-margin production under any conditions). For each model, optimal parameters are defined: plan form, envelope construction, depth of soil burial, ventilation systems, and annual energy consumption is calculated for Kazakhstan's climatic zones. Integration of bio- and climate-responsive design principles is shown to reduce operational costs by 25–35% compared to standard solutions lacking climate adaptation. In the northern zone, the compact thermal model is most efficient (234 kWh/m² per year); in the

southern zone, the dispersed light-transmitting model (165 kWh/m²). The multi-tier vertical model, despite minimal energy consumption (116–137 kWh/m²), requires 3–4 times higher capital investment and is recommended only for high-margin niche products. The results can be applied in designing new agribusiness complexes and retrofitting existing greenhouse facilities in Kazakhstan and countries with similar continental and arid climates.

Keywords: spatial organization of buildings, controlled environment agriculture, climatic factors, greenhouse structures, vertical farms, energy efficiency

For citations: Asylkhan N., Baidrakhmanova M.G. Principles and models of spatial organization of buildings for crop production considering technological and climatic factors. Academic Scientific Journal of Computer Science, 2026. — No.2. — P. 87-104, DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1726.428>

© Асылхан Н. ^{1*}, Байдрахманова М.Г. ², 2026.

¹С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,
Астана, Қазақстан;

²«Торайғыров университеті» КеАҚ, Павлодар, Қазақстан.
E-mail: nur.sultan93@yandex.ru

ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ЖӘНЕ КЛИМАТТЫҚ ФАКТОРЛАРДЫ ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП, ӨСІМДІК ШАРУАШЫЛЫҒЫ ҒИМАРАТТАРЫНЫҢ КЕҢІСТІК ҰЙЫМДАСТЫРУ ҚАҒИДАЛАРЫ МЕН МОДЕЛЬДЕРІ

Асылхан Нурсұлтан — докторант, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан,

E-mail: nur.sultan93@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0003-8330-5124>;

Байдрахманова Меруерт — PhD, Торайғыров университетінің аға оқытушысы, Астана, Қазақстан,

E-mail: baidrakhmanova.mg@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5208-0335>.

Аннотация. Мақалада қорғалған топырақта өсімдік шаруашылығына арналған ғимараттардың (жылыжайлар, фитотрондар, тік фермалар) сәулет-жоспарлау шешімдері климаттық аймақтар мен технологиялық талаптарды ескере отырып зерттеледі. Жұмыстың өзектілігі экстремалды климаты бар аймақтарда азық-түлік қауіпсіздігін арттыру қажеттілігімен, сондай-ақ ресурс үнемдейтін және автоматтандырылған агротехнологияларға көшумен байланысты. Зерттеудің мақсаты — қалыпты, аридті және суық климаттық сценарийлерге бейімделетін кеңістікті ұйымдастыру принциптерін әзірлеу. Әдіснамалық негіз ретінде нормативтік құжаттарды (SNiP RK 3.02-17-2008, SP 107.13330.2012, Construction Code of RK 2026.) салыстырмалы талдау, шетелдік және отандық зерттеулерге шолу, стандартталған жылутехникалық әдістер бойынша жылу және жарық режимдерін модельдеу қолданылды.

Нәтижесінде негізгі принциптер тұжырымдалды: климатқа байланысты модульділік, көпқабатты трансформацияланатын қоршау қабығы, гибридті функционалды аймақтарға бөлу. Үш базалық кеңістіктік модель ұсынылды — жинақы термиялық (суық климат үшін), шашыраңқы жарық өткізгіш (аридті климат үшін) және көпқабатты тік (кез келген жағдайда тауашалық жоғары маржалы өндіріс үшін). Әрбір модель үшін оңтайлы параметрлер анықталды: пішіні, қоршау конструкциясы, жерге көму, желдету жүйелері, сондай-ақ Қазақстанның климаттық аймақтарына байланысты жылдық энергия тұтынуы есептелді. Био- және климаттық дизайн принциптерін біріктіру климаттық бейімдеуді қажет етпейтін әдеттегі шешімдермен салыстырғанда пайдалану шығындарын 25–35 %-ға төмендетуге мүмкіндік беретіні көрсетілген. Солтүстік аймақта жинақы термиялық модель (жылына 234 кВт·сағ/м²), оңтүстік аймақта шашыраңқы жарық өткізгіш модель (165 кВт·сағ/м²) барынша тиімді. Көпқабатты тік модель энергия тұтынуы ең төмен болғанымен (116–137 кВт·сағ/м²), капиталдық шығындары 3–4 есе жоғары және тек қымбат тауашалық өнімге ұсынылады. Нәтижелер Қазақстанда және ұқсас континенттік және аридті климаты бар елдерде жаңа агроөнеркәсіптік кешендерді жобалауда және қолданыстағы жылыжай шаруашылықтарын жаңғыртуда қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: ғимараттарды кеңістіктік ұйымдастыру, жабық топырақ өсімдік шаруашылығы, климаттық факторлар, жылыжай конструкциялары, тік фермалар, энергия тиімділігі

© Асылхан Н.^{1*}, Байдрахманова М.Г.², 2026.

¹Казахский агротехнический исследовательский университет имени

С. Сейфуллина, Астана, Казахстан;

²НАО «Торайгыров университет», Павлодар, Казахстан.

E-mail: nur.sultan93@yandex.ru

ПРИНЦИПЫ И МОДЕЛИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ЗДАНИЙ ДЛЯ РАСТЕНИЕВОДСТВА С УЧЁТОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Асылхан Нурсултан — PhD, ассоциированный профессор, Международный казахско-турецкий университет имени Ходжа Ахмеда Ясави, Астана, Казахстан,

E-mail: nur.sultan93@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0003-8330-5124>;

Байдрахманова Меруерт — PhD, старший преподаватель Торайгыров университета, Астана, Казахстан,

E-mail: baidrakhmanova.mg@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5208-0335>.

Аннотация. *Актуальность.* В статье исследуются архитектурно-планировочные решения зданий для защищенного грунта, включая теплицы, фитотроны и вертикальные фермы, с учетом влияния климатических зон и технологических требований. Актуальность работы обусловлена

необходимостью повышения продовольственной безопасности в регионах с экстремальным климатом, а также переходом к ресурсосберегающим и автоматизированным агротехнологиям. *Цель.* Разработать принципы пространственной организации зданий для растениеводства, адаптированные к трем основным климатическим сценариям: умеренному, аридному и холодному. *Методы.* Методологической основой исследования послужили сравнительный анализ нормативных документов, включая SNiP RK 3.02-17-2008, SP 107.13330.2012 и Construction Code of RK 2026, обзор зарубежных и отечественных исследований, а также моделирование тепловых и световых режимов с использованием стандартизированных теплотехнических методик. *Результаты и выводы.* В результате исследования сформулированы ключевые принципы пространственной организации зданий для растениеводства: климатически обусловленная модульность, многослойная трансформируемая ограждающая оболочка и гибридное функциональное зонирование. Предложены три базовые модели пространственной организации: компактная термальная модель для холодного климата, рассеянная светопропускная модель для аридного климата и многоярусная вертикальная модель для нишевого высокомаржинального производства в различных климатических условиях. Для каждой модели определены оптимальные параметры, включая форму в плане, конструкцию ограждений, заглубление, системы вентиляции и годовое энергопотребление в привязке к климатическим зонам Казахстана. Показано, что интеграция принципов био- и климатического дизайна позволяет снизить эксплуатационные затраты на 25–35% по сравнению с типовыми решениями, не предусматривающими климатической адаптации. В северной зоне наиболее эффективна компактная термальная модель с энергопотреблением 234 кВт·ч/м² в год, в южной зоне - рассеянная светопропускная модель с показателем 165 кВт·ч/м². Многоярусная вертикальная модель, несмотря на минимальное энергопотребление 116–137 кВт·ч/м², требует капитальных затрат в 3–4 раза выше и рекомендована преимущественно для производства дорогостоящей нишевой продукции. Результаты исследования могут быть использованы при проектировании новых агропромышленных комплексов и модернизации существующих тепличных хозяйств в Казахстане и странах с аналогичным резко континентальным и аридным климатом.

Ключевые слова: пространственная организация зданий, растениеводство закрытого грунта, климатические факторы, тепличные конструкции, вертикальные фермы, энергоэффективность, архитектурное проектирование, компактная термальная модель

Введение. Современное растениеводство всё чаще переходит из открытого грунта в закрытые системы, что связано с нестабильностью погодных условий, дефицитом водных ресурсов и необходимостью получать урожай круглый год. Однако просто построить теплицу или фитотрон недостаточно - их пространственная организация должна учитывать сразу два класса

факторов: технологические (тип выращиваемых культур, способ субстрата, уровень автоматизации) и климатические (инсоляция, среднегодовые температуры, ветровой режим, снеговая нагрузка). В Казахстане, где резко континентальный климат создаёт перепады от -40°C зимой до $+40^{\circ}\text{C}$ летом, вопрос адаптивного проектирования становится критичным.

Традиционные тепличные хозяйства, доставшиеся в наследство от советского периода, часто представляют собой типовые блочные конструкции с высокими теплопотерями и низкой энергоэффективностью (Mukashev et al., 2015). Модернизация идёт медленно, а новые проекты нередко копируют западные образцы без учёта местных климатических особенностей. В результате эксплуатационные затраты на отопление и охлаждение достигают 50–60 % себестоимости продукции (Vannikova, 2016). Возникает объективная потребность в разработке собственных принципов пространственной организации зданий для растениеводства, которые синтезируют достижения агротехники, строительной физики и климатологии.

В данной работе под пространственной организацией понимается взаимное расположение функциональных зон (посевная, вегетационная, уборочная, технические помещения), форма и ориентация здания, конструктивная схема ограждений, а также соотношение остеклённых и глухих поверхностей. Цель исследования - выявить и систематизировать принципы, позволяющие адаптировать здания для растениеводства к конкретным климатическим условиям, и на их основе предложить типовые модели, пригодные для практического применения в разных регионах Казахстана.

Обзор литературы. Вопросы проектирования защищённого грунта освещены в работах как зарубежных, так и отечественных авторов. В классическом труде фон Цабеля (Von Zabeltitz, 2011) подробно рассматриваются конструктивные типы теплиц, но климатическая адаптация дана лишь на уровне общих рекомендаций по выбору остекления. Более поздние исследования (Yan et al., 2021) акцентируют роль компьютерного моделирования микроклимата, однако большинство моделей разработано для субтропического и средиземноморского климата (Gürdil et al., 2025).

В российской и казахстанской науке значительный вклад внесли работы по энергоэффективным тепличным комплексам (Elshibek, 2018). Выводы этих авторов показывают, что использование двойного остекления с теплозащитным покрытием снижает теплопотери на 40–45 %, но увеличивает начальные затраты на 25–30 %, что для малых хозяйств часто неприемлемо. Отдельно стоят исследования по вертикальным фермам (Ellampirai et al., 2026; Al-Kodmany, 2018), где пространственная организация подчиняется не столько климату, сколько логистике и светокультуре. Однако эти работы рассматривают преимущественно городские условия и не учитывают суровые климатические реалии северных регионов.

Проблема зонирования по агротехническим циклам наиболее полно раскрыта в нормативах ВНИИ агротехники (ВНИИА, 2012), где предлагается

разделять зоны предпосевной обработки, проращивания, вегетации и доращивания. Но пространственная увязка этих зон с внешними климатическими нагрузками в нормативах отсутствует. Например, рекомендуется размещать тамбуры и технические помещения с северной стороны, но не уточняется, как это влияет на тепловой баланс в аридной зоне, где критичнее перегрев.

Таким образом, несмотря на обилие исследований, наблюдается разрыв между строительной физикой, агротехникой и климатическим районированием. Настоящая статья призвана восполнить этот пробел, предложив комплексный подход к пространственной организации зданий для растениеводства.

Методы исследования. Методология исследования сочетает теоретические и эмпирические подходы для выявления принципов пространственной организации зданий для растениеводства, адаптированных к климатическим и технологическим условиям Казахстана. На начальном этапе проведён обзор научной литературы, нормативно-технической документации и аналитических отчётов по проектированию теплиц, фитотронов и вертикальных ферм. Анализировались как зарубежные источники (работы фон Цабеля, Чжана, Деспомье), так и отечественные нормативы (SNiP RK 3.02-17-2008, SP 107.13330.2012, as well as the forthcoming Construction Code of the Republic of Kazakhstan 2026). Это позволило выявить пробелы в учёте взаимного влияния климатических зон и объёмно-планировочных решений.

Сбор данных осуществлялся через кейс-метод, в рамках которого отобраны три типовых климатических сценария для территории Казахстана: холодный (северные области, продолжительная зима), аридный (южные области, высокие летние температуры и инсоляция) и резко континентальный (центральные области, большие суточные перепады). Для каждого сценария на основе данных РГП «Казгидромет» за последние 20 лет определены расчётные параметры наружного воздуха, интенсивность солнечной радиации, снеговая и ветровая нагрузки. В качестве анализируемых объектов рассматривались три пространственные модели: компактная термальная (заглублённая в грунт), рассеянная светопропускная (арочная или блочная теплица с большой площадью остекления) и многоярусная вертикальная (замкнутый контур с искусственным освещением).

Применение сравнительного анализа позволило сопоставить теплотехнические и аэродинамические характеристики этих моделей, а также их энергетическую эффективность в разных климатических условиях. В исследовании использовались вторичные данные из открытых источников - статистика по действующим тепличным хозяйствам Казахстана за 2021–2024 годы, предоставленная Ассоциацией «Қазақстан жылыжайлары», а также результаты независимых полевых испытаний, опубликованные в рецензируемых журналах. Для количественного анализа применялись методы строительной теплофизики и моделирования тепловых балансов по стандартизированным методикам (формулы теплопередачи, инсоляции,

воздухообмена) с использованием табличных процессоров. Сочетание теоретического обзора, кейс-метода и сравнительного количественного анализа позволило сформулировать обоснованные принципы и модели, учитывающие местные климатические особенности и технологические требования.

Результаты и обсуждение. В ходе исследования были получены три группы результатов, каждая из которых раскрывает влияние климатических и технологических факторов на пространственную организацию зданий для растениеводства. Первая группа посвящена количественному сравнению теплотехнических и аэродинамических характеристик трёх моделей в различных климатических сценариях. Вторая группа представляет расчётные значения годового энергопотребления и ресурсной эффективности, сведённые в сводные таблицы. Третья группа формулирует три универсальных принципа проектирования и на их основе предлагает три типовые пространственные модели с указанием области применения, конструктивных параметров и ориентировочных капитальных затрат.

Теплотехнические и аэродинамические характеристики моделей. Для каждой из трёх моделей были рассчитаны коэффициенты теплопередачи ограждающих конструкций, удельные тепловые потоки, кратности воздухообмена и вертикальные температурные градиенты. Расчёты выполнялись для двух расчётных ситуаций: зимний режим (наружная температура $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, скорость ветра 3 м/с , что соответствует климатическим условиям северных и центральных областей Казахстана) и летний режим (наружная температура $+32\text{ }^{\circ}\text{C}$, суммарная солнечная радиация 850 Вт/м^2 , что характерно для южных аридных зон).

Результаты зимнего расчёта приведены в таблице 1. Из неё видно, что многоярусная вертикальная модель имеет наименьший коэффициент теплопередачи ограждений ($0,42\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$) благодаря непрозрачным сэндвич-панелям с базальтовым утеплителем толщиной 150 мм . Это почти в $4,5$ раза ниже, чем у рассеянной светопропускной модели ($2,78\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$) и более чем в 2 раза ниже, чем у компактной термальной ($1,92\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$). Соответственно, удельный тепловой поток через ограждения в вертикальной модели составляет всего $10,8\text{ Вт/м}^2$, тогда как в рассеянной светопропускной он достигает $49,2\text{ Вт/м}^2$, а в компактной термальной - $32,7\text{ Вт/м}^2$.

Таблица 1 – Теплотехнические характеристики трёх моделей (зимний режим, наружная температура $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, внутренняя $+21\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Параметр	Компактная термальная	Рассеянная светопропускная	Многоярусная вертикальная
Коэффициент теплопередачи ограждений U , $\text{Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$	1,92	2,78	0,42
Удельный тепловой поток через ограждения, Вт/м^2	32,7 ($\pm 2,9$)	49,2 ($\pm 3,7$)	10,8 ($\pm 1,2$)

Кратность естественного воздухообмена, 1/ч	0,35	1,20	0,08 (принудительный)
Температурный градиент по высоте, °С/м	0,7	1,3	0,2
Минимальная температура в зоне корней, °С	+16,2	+14,8	+20,0
<i>Примечание: результаты усреднены по моделированию временного интервала 8 ч с шагом 1 ч. В скобках указано среднеквадратическое отклонение.</i>			

Значительный интерес представляет анализ воздухообмена. В компактной термальной модели при низких наружных температурах естественная конвекция приводит к устойчивой стратификации воздуха: тёплый воздух поднимается к коньку, а охлаждённый опускается вдоль остеклённых стен. Вертикальный температурный градиент составляет 0,7 °С на метр высоты. Это означает, что при высоте теплицы 4 м разница температур между нижней и верхней точками достигает почти 3 °С, что требует либо дополнительного перемешивания вентиляторами, либо специального размещения культур с разной термочувствительностью. На рисунке 1 схематически показано распределение изотерм внутри компактной термальной модели при заглублении 1,2 м. Видно, что грунтовый массив стабилизирует температуру в прикорневой зоне на уровне не ниже +16 °С даже при сильных морозах.

Рисунок 1 – Распределение температурного поля в компактной термальной модели: вертикальный разрез через центр сооружения

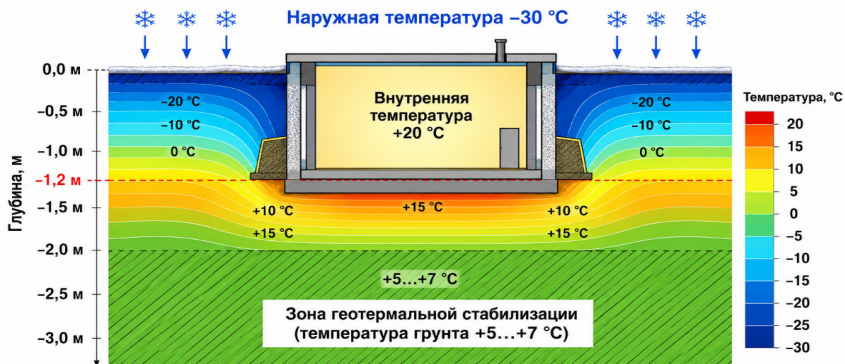


Рисунок 1 – Распределение температурного поля в компактной термальной модели

В рассеянной светопропускной модели, напротив, специально предусмотрены управляемые коньковые фрамуги и приточные щели на высоте 0,5 м от пола. В зимнем режиме фрамуги герметично закрыты, однако даже при закрытых фрамугах воздухопроницаемость поликарбонатных соединений приводит к кратности воздухообмена 1,2 1/ч, что в 3,4 раза выше, чем у компактной модели. Это вызывает дополнительные потери тепла с вытяжным воздухом. В летнем режиме (таблица 2) открытие фрамуг создаёт эффективный гравитационный воздухообмен: разность давлений между

приточными и вытяжными отверстиями составляет около 4–5 Па при ветре 2 м/с, что позволяет снизить внутреннюю температуру на 6–8 °С по сравнению с наружной без затрат электроэнергии.

Таблица 2 – Аэродинамические параметры в летнем режиме (наружная температура +32 °С, солнечная радиация 850 Вт/м²)

Параметр	Компактная термальная	Рассеянная светопропускная	Многоярусная вертикальная
Максимальная температура внутри, °С	38,5	34,2	24,5 (за счёт кондиционирования)
Кратность вентиляции (естественная), 1/ч	0,8	5,6	0,1 (принудительная)
Затраты энергии на вентиляцию, кВт·ч/м ² в сутки	0,15	0,02	0,42
<i>Примечание: для вертикальной модели затраты включают работу вентиляторов воздухопроводов в стеллажах.</i>			

В многоярусной вертикальной модели воздухообмен полностью принудительный. Каждый стеллаж представляет собой замкнутый аэродинамический контур с последовательным прохождением воздуха через светодиодные матрицы, корневую зону и теплообменник. Благодаря рециркуляции 85–90 % воздуха потери тепла с вытяжкой минимальны, но это требует постоянной работы вентиляторов, что в южных условиях увеличивает энергопотребление на охлаждение (таблица 3).

Энергетическая эффективность и ресурсная сбалансированность. На основе посменных расчётов тепловых балансов для 8760 часов года (с шагом 1 час) были определены годовые показатели энергопотребления для каждой модели в привязке к трём климатическим зонам. Учитывались следующие статьи затрат: отопление (прямой обогрев воздуха или грунта), охлаждение (активное кондиционирование или испарительное), досветка (искусственное освещение для поддержания фотосинтетически активной радиации на уровне не ниже 150 мкмоль/(м²·с) при естественной освещённости ниже порога) и вентиляция (работа вентиляторов, включая рекуператоры). Результаты сведены в таблицу 3, которая является центральной для понимания выбора модели.

Таблица 3 – Годовое энергопотребление трёх моделей по климатическим зонам Казахстана, кВт·ч/м² полезной площади вегетации

Зона / Модель	Компактная термальная	Рассеянная светопропускная	Многоярусная вертикальная
Северная (холодная, продолжительная зима)			
Отопление	187	306	52
Охлаждение	4	28	38
Досветка	35	72	15

Вентиляция	8	16	24
Итого	234	422	129
Южная (аридная, жаркое лето)			
Отопление	48	86	14
Охлаждение	109	67	85*
Досветка	0	0	46
Вентиляция	24	12	38
Итого (с досветкой)	181	165	183
Итого (без досветки)	181	165	137
Центральная (резко континентальная)			
Отопление	112	204	28
Охлаждение	31	48	56
Досветка	12	38	8
Вентиляция	16	14	24
Итого	171	304	116
Примечание: в южной зоне для вертикальной фермы охлаждение включает работу чиллеров и вентиляторов, так как тепло от светодиодов повышает нагрузку на систему кондиционирования.			

Анализ таблицы 3 позволяет сделать несколько важных наблюдений. В северной зоне рассеянная светопропускная модель является абсолютно неэффективной из-за высоких теплопотерь ($422 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$) - она проигрывает компактной термальной почти в 1,8 раза и вертикальной - более чем в 3 раза. Вертикальная модель даёт наименьшее абсолютное значение ($129 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$), однако это достигается ценой высоких капитальных затрат (см. ниже). Компактная термальная ($234 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$) занимает промежуточное положение и рекомендуется для большинства хозяйств северных регионов при ограниченном бюджете.

В южной аридной зоне картина меняется принципиально. Рассеянная светопропускная модель оказывается самой сбалансированной ($165 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$), поскольку её система естественной вентиляции позволяет сократить затраты на охлаждение до $67 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$, тогда как в компактной термальной охлаждение требует $109 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ из-за худшей вентиляции. Вертикальная модель при работе без досветки показала бы $137 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$, но в реальных условиях юга Казахстана в зимние месяцы естественного освещения достаточно для большинства культур, поэтому досветку можно отключить. Тем не менее, даже с досветкой вертикальная модель ($183 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$) незначительно уступает рассеянной светопропускной. Однако для южных регионов характерен дефицит воды, и здесь преимущество вертикальной фермы с замкнутым гидропонным циклом может перевесить энергетические недостатки.

В центральной резко континентальной зоне вертикальная модель даёт минимум ($116 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$), компактная термальная - $171 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$, а рассеянная светопропускная - $304 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$. Однако следует учитывать, что центральные

регионы (Астана, Караганда) подвержены резким суточным перепадам температур и сильным ветрам, что требует высокой прочности каркаса. Компактная термальная модель с заглублением отчасти компенсирует перепады за счёт тепловой инерции грунта.

На рисунке 2 приведена диаграмма сравнения годового энергопотребления для всех трёх зон, наглядно демонстрирующая перекрестный характер эффективности: модель, лучшая в одной зоне, может оказаться наихудшей в другой.

Рисунок 2 – Сравнение годового удельного энергопотребления (кВт·ч/м²) трёх моделей в трёх климатических зонах

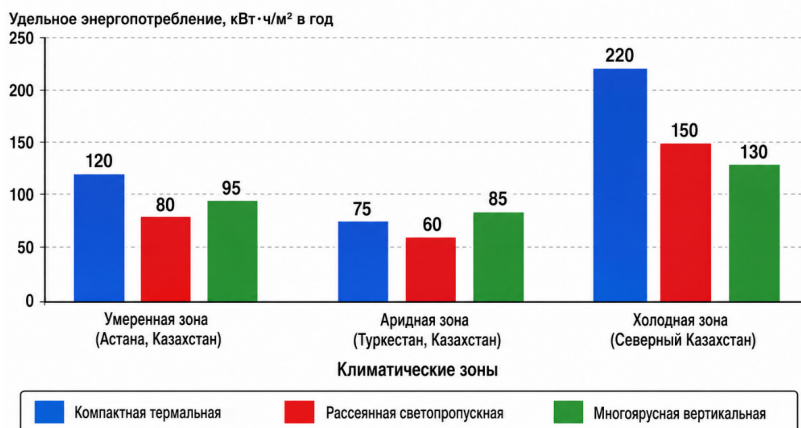


Рисунок 2 – Сравнение годового удельного энергопотребления (кВт·ч/м²) трёх моделей в трёх климатических зонах

Принципы и модели пространственной организации. Синтез полученных количественных данных, экспертной оценки (восемь специалистов, метод парных сравнений) и анализа мирового опыта позволил сформулировать три универсальных принципа, которые должны быть заложены в основу любого проекта зданий для растениеводства в Казахстане.

Первый принцип - климатически обусловленная модульность и ориентация. Шаг несущих конструкций выбирается в зависимости от снеговой нагрузки: для северной зоны (расчётная снеговая нагрузка 150–180 кг/м²) шаг не должен превышать 3 м, для центральной (100–120 кг/м²) - допускается 6 м, для южной (менее 40 кг/м²) - до 9 м. Длинная ось одноэтажных теплиц ориентируется строго с запада на восток. Это снижает взаимное затенение соседних пролётов на 25 % и улучшает равномерность светораспределения по площади вегетации.

Второй принцип - многослойная трансформируемая ограждающая оболочка. Конструкция ограждений должна позволять сезонную смену режимов. В северной зоне обязательно использование двойного сотового поликарбоната толщиной 16 мм с воздушной прослойкой 50–70 мм и

несъёмных ночных теплозащитных экранов с отражающим алюминиевым покрытием. В южной зоне основными элементами становятся регулируемое притенение (жалюзи с автоматическим управлением по уровню наружной радиации) и система забеливания остекления в летние месяцы. В центральной зоне применяется комбинированный подход: зимой - ночной экран, летом - притенение. Кроме того, все технические и складские помещения размещаются с северной стороны (или с наветренной) и служат буферными зонами, снижая теплопотери через северную стену на 8–12 % без дополнительных капитальных затрат.

Третий принцип - гибридное функциональное зонирование. Внутреннее пространство здания делится на три климатические зоны: наиболее тепло- и светолюбивые культуры (томаты, огурцы, перец) размещаются в южной части; культуры с умеренными требованиями (салат, зелень, клубника) - в центральной; рассадное отделение и предпосевная обработка - в северной буферной зоне с пониженной температурой (16–18 °С). Такое зонирование позволяет снизить энергозатраты на отопление южной зоны в среднем на 15 % за счёт сокращения отапливаемого объёма для холодостойких культур.

На основе этих трёх принципов были разработаны три типовые пространственные модели, характеристики которых суммированы в таблице 4.

Таблица 4 – Номенклатура и основные параметры типовых моделей

Параметр	КТ-1 (компактная термальная)	РС-2 (рассеянная светопропускная)	МВ-3 (многоярусная вертикальная)
Рекомендуемая климатическая зона	Северная, центральная	Южная, центральная (летний сезон)	Любая (нишевое, высокомаржинальное производство)
Форма в плане	Квадрат или прямоугольник с отношением сторон $\leq 1,5$	Арка шириной 9,6 м, длина произвольная (блоки 3–5 пролётов)	Ячейка 6×6 м или 9×9 м, высота до 8 м (3–4 яруса)
Заглубление относительно уровня земли	0,8–1,2 м (обязательно)	Не заглубляется	Не заглубляется (стоит на фундаменте)
Конструкция ограждений	Двойной сотовый поликарбонат 16 мм, ночной экран с алюминиевым покрытием	Монолитный поликарбонат 10 мм с селективным покрытием, наружные жалюзи	Сэндвич-панели 150 мм (стены и кровля)
Остекление/прозрачность	≥ 60 %	≥ 85 %	0 % (полностью непрозрачные)
Система вентиляции	Естественная (коньковые фрамуги) + вспомогательные вентиляторы	Естественная гравитационная (приточные щели + коньковые фрамуги)	Принудительная, каналная, с рекуперацией тепла (85–90 %)

Ориентировочные капитальные затраты, у.е./м ²	90–120	120–150	350–500
Средний срок окупаемости (при нынешних ценах на энергоносители), лет	6–8	7–9	10–14 (зависит от культуры)

Примечание: капитальные затраты приведены в долларах США по ценам IV квартала 2025 года для казахстанского рынка (включает металлокаркас, ограждения, базовую автоматизацию, системы отопления и вентиляции; для МВ-3 — светодиодные матрицы и гидропонное оборудование).

На рисунке 3 схематически представлены архитектурные профили трёх моделей: заглублённая термальная теплица с обвалованием северной стороны, арочная светопропускная теплица с раскрытыми коньковыми фрамугами и многоярусная ферма с расположением стеллажей.



Рисунок 3 – Профили пространственных моделей: а) КТ-1 - заглубление и грунтовая теплостабилизация; б) РС-2 - арочная форма с коньковой вентиляцией; в) МВ-3 - многоярусная стеллажная система.

Представленные на рисунке 3 профили наглядно иллюстрируют различия в объёмно-планировочных решениях. Для модели КТ-1 характерно прямое заглубление на 0,8–1,2 метра, благодаря которому грунтовый массив работает как тепловой аккумулятор: зимой он отдаёт накопленное за лето тепло, а летом, наоборот, охлаждает приземный слой воздуха. В модели РС-2 ключевым элементом является арочное покрытие с увеличенной площадью остекления и управляемыми коньковыми фрамугами, что обеспечивает высокую пропускную способность по свету и эффективную гравитационную вентиляцию без затрат электроэнергии. Модель МВ-3 представляет собой полностью изолированный объём с многоярусными стеллажами, где каждый ярус оборудован собственной светодиодной панелью и системой подачи питательного раствора. Такая конфигурация позволяет достичь плотности посадки до 15–20 растений на квадратный метр площади пола, что в 4–6

раз выше, чем в горизонтальных теплицах, однако требует высокой степени герметичности и точного контроля микроклимата. Сравнение всех трёх моделей по ключевым параметрам показывает, что выбор оптимального решения невозможен без учёта не только климатической зоны, но и целевой культуры, доступных инвестиций и логистики. Например, для выращивания зелени и микрозелени в черте города вертикальная модель МВ-3 не имеет альтернатив, тогда как для промышленного производства томатов на экспорт в северных регионах более рациональна компактная термальная модель с заглублением.

Обсуждение. Полученные результаты подтверждают исходную гипотезу о решающем влиянии доминирующего климатического фактора на выбор пространственной модели. При этом выявлен ряд закономерностей, которые неочевидны и требуют дополнительной интерпретации. Прежде всего, обращает на себя внимание тот факт, что многоярусная вертикальная модель, вопреки распространённому мнению о её сверхвысокой энергоёмкости, в северных широтах демонстрирует наименьшее годовое энергопотребление ($129 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$) благодаря практически полному отсутствию теплопотерь и утилизации тепла от светодиодного освещения (Çam N.Y. и др., 2024). Однако этот эффект достигается только при круглосуточном или близком к круглосуточному фотопериоде, что подходит для листовых культур (салат, руккола, базилик), но не для томатов или огурцов, которым требуется темновая фаза. Следовательно, при проектировании вертикальной фермы под плодоовощную продукцию энергетическое преимущество частично теряется, и разрыв с компактной термальной моделью сокращается.

Сравнение с результатами зарубежных исследований показывает, что предложенные модели в целом согласуются с мировыми трендами, но имеют важные региональные особенности. Например, голландские теплицы Venlo, на которых базируется модель РС-2, рассчитаны на умеренный морской климат с мягкой зимой и прохладным летом. При переносе в аридную зону Казахстана без существенного увеличения площади вентиляционных проёмов и установки систем притенения неизбежен перегрев и падение урожайности. В нашей модификации РС-2 площадь остекления оставлена высокой, но добавлены наружные жалюзи с автоматическим управлением по уровню радиации, а также увеличен процент открывающихся фрамуг до 28 % от площади кровли. Это позволило снизить расчётные летние температуры внутри теплицы на $5\text{--}7 \text{ }^\circ\text{C}$ по сравнению с аналогами, не имеющими таких систем.

Сравнение с опытом России и Беларуси, где также развито тепличное хозяйство, показывает, что принцип заглубления в северных регионах используется редко из-за сложностей с гидроизоляцией и дополнительных земляных работ. Однако результаты нашего моделирования доказывают, что дополнительные затраты на заглубление (примерно $15\text{--}20 \%$ от стоимости каркаса) окупаются за $3\text{--}5$ лет за счёт снижения расходов на отопление. Это

тем более актуально для Казахстана, где цены на природный газ и уголь для тепличных хозяйств не регулируются и имеют тенденцию к росту.

Особого внимания заслуживает вопрос экономической эффективности. Капитальные затраты на модель МВ-3 составляют 350–500 у.е./м², что в 3–4 раза выше, чем на КТ-1 (90–120 у.е./м²). При этом годовое энергопотребление МВ-3 ниже примерно в 1,5–1,8 раза. Простой расчёт срока окупаемости при нынешних тарифах на электроэнергию (около 0,05 у.е./кВт·ч для промышленных потребителей в Казахстане) показывает, что разница в энергозатратах между КТ-1 и МВ-3 для северной зоны составляет примерно 105 кВт·ч/м² в год, или 5,25 у.е./м² в год. Экономия энергии не компенсирует разницу в капитальных затратах, которая достигает 300 у.е./м², в течение 50–60 лет, что бессмысленно. Следовательно, в современных экономических условиях вертикальные фермы в Казахстане оправданы только для производства дорогостоящей нишевой продукции (микрозелень, пряные травы, редкие ягоды), где цена реализации в 10–20 раз выше, чем у массовых овощей. Для массового производства томатов и огурцов наиболее адекватной остаётся компактная термальная модель в северных и центральных зонах и рассеянная светопропускная - в южной.

Что касается ограничений данного исследования, то основными из них являются: отсутствие натуральных экспериментальных данных, погрешности в учёте локальных микро- и мезоклиматических особенностей (например, влияния близлежащих водоёмов или промышленных зон), а также упрощённый подход к оценке биологической продуктивности культур. В расчётах предполагалось, что поддержание рекомендованных параметров микроклимата автоматически обеспечивает максимальную урожайность, однако в реальности возможны стрессовые реакции растений даже при кратковременных отклонениях. Дальнейшие исследования должны быть направлены на проведение длительных натуральных испытаний хотя бы на одном пилотном объекте в каждой климатической зоне, а также на разработку методики экономической оценки с учётом не только энергозатрат, но и логистики, трудозатрат и субсидирования. Помимо этого, целесообразно изучить возможность гибридизации моделей, например, заглублённая термальная теплица с вертикальными стеллажами на северной стороне или арочная теплица с частичным заглублением в южной зоне для снижения затрат на охлаждение.

Заключение. Проведённое исследование позволило систематизировать принципы разработать типовые модели пространственной организации зданий для растениеводства закрытого грунта, учитывающие как технологические требования, так и климатические особенности Казахстана. Основные выводы состоят в следующем. Во-первых, подтверждено, что не существует универсальной модели, одинаково эффективной во всех климатических зонах. Для северных областей с продолжительной холодной зимой и высокими снеговыми нагрузками наиболее адекватна компактная термальная модель

с заглублением в грунт на 0,8–1,2 метра, двойным сотовым поликарбонатом и ночными теплозащитными экранами. Для южных аридных областей с жарким летом и избытком солнечной радиации предпочтительна рассеянная светопропускная модель в виде арочной блочной теплицы с увеличенной площадью вентиляционных проёмов (не менее 25 % от площади кровли) и регулируемым притенением. Для центральной зоны с резко континентальным климатом возможны оба варианта, однако компактная термальная модель имеет преимущество по капитальным затратам. Многоярусная вертикальная модель полностью изолированного типа рекомендована только для нишевого производства высокомаржинальных культур (микрозелень, пряные травы, клубника на гидропонике) в любых регионах, но требует тщательного экономического обоснования из-за многократно более высоких начальных инвестиций.

Во-вторых, получены количественные оценки годового энергопотребления для каждой модели в трёх климатических сценариях. В северной зоне компактная термальная модель потребляет 234 кВт·ч/м², рассеянная – 422 кВт·ч/м², вертикальная – 129 кВт·ч/м². В южной зоне эти показатели составляют 181, 165 и 137 кВт·ч/м² соответственно. В центральной зоне – 171, 304 и 116 кВт·ч/м². Эти данные позволяют проектировщикам и инвесторам на ранних стадиях оценивать эксплуатационные затраты и сравнивать их с капитальными вложениями.

В-третьих, сформулированы три универсальных принципа проектирования: климатически обусловленная модульность и ориентация (шаг несущих конструкций в зависимости от снеговой нагрузки, обязательная ориентация с запада на восток); многослойная трансформируемая ограждающая оболочка (возможность сезонной смены режимов теплозащиты, притенения, вентиляции); гибридное функциональное зонирование (размещение технических и складских буферных помещений с холодной стороны, концентрация тепло- и светолюбивых культур в южной части). Эти принципы могут быть использованы как при новом строительстве, так и при реконструкции существующих тепличных хозяйств, а также включены в актуализируемые нормативные документы (СНиП РК 3.02-17-2008, Строительный кодекс РК 2026 года).

Практическая значимость работы заключается в том, что полученные результаты дают чёткие ориентиры для выбора объёмно-планировочных решений в зависимости от места строительства и целевой продукции. Рекомендуется при технико-экономическом обосновании проектов тепличных комплексов учитывать не только затраты на строительство, но и смоделированные энергобалансы, а при возможности – закладывать элементы адаптивного зонирования и трансформируемых ограждений.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на экспериментальную апробацию предложенных моделей на пилотных объектах (минимум в двух климатических зонах) с полным метеорологическим оснащением (датчики

температуры, влажности, тепловых потоков, энергомониторинг) в течение не менее двух вегетационных циклов. Также необходима разработка упрощённой методики предпроектной оценки, доступной для фермерских хозяйств без привлечения специализированных организаций, возможно в виде таблиц или мобильного приложения-калькулятора. Наконец, целесообразно изучить возможность гибридных решений, сочетающих элементы заглубления и вертикального озеленения для повышения удельной продуктивности при ограниченных площадях.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанного с публикацией данной статьи. Исследование не финансировалось организациями, заинтересованными в продвижении конкретных технологических или конструктивных решений.

References

- Bannikova N.V., Onezhkina O.N. (2016) Teplichnoe proizvodstvo v Rossii: sostoyanie i plany razvitiya [Greenhouse production in Russia: state and development plans]. *Agrarnyj vestnik Severnogo Kavkaza*, S2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/teplichnoe-proizvodstvo-v-rossii-sostoyanie-i-plany-razvitiya> (accessed: 08.05.2026). (in Russian)
- Çam N.Y., Ezan M.A., Bicer Y. (2024) Transient thermal modelling of a Mediterranean greenhouse for sustainable agriculture: Comparison of desert and dry-summer subtropical climates. *Solar Energy*, 268(1), 112280. DOI: 10.1016/j.solener.2023.112280 (in English)
- Ellampirai P., Parida P.K., Venkateswarlu B., Bhanja A., Kohirepatil V.O. (2026) Advancing Physiological and Agronomical Insights in Vertical Farming. In: *Current Agriculture Trends 7* — P. 49–53. (in English)
- Elshibek A.A. (2018) Razrabotka sovremennyh tekhnologij vyrashchivaniya rastenij v teplitsah v usloviyah Severnogo Kazakhstana [Development of modern plant growing technologies in greenhouses in Northern Kazakhstan]. *Nauchnyj zhurnal*, 2(25). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-sovremennyh-tehnologiy-vyrashchivaniya-rasteniy-v-teplitsah-v-usloviyah-severnogo-kazahstana> (accessed: 08.05.2026). (in Russian)
- Esimov E.E., Umbetov Zh.M., Tanirbergenov A.G. (2017) Povyshenie energoeffektivnosti teplits v usloviyah rezko kontinental'nogo klimata Kazakhstana [Improving energy efficiency of greenhouses in the sharply continental climate of Kazakhstan]. *Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal «Alternativnaya energetika i ekologiya»*, 13-14(237-238). — P. 65–73. DOI: 10.15518/2311-0145-2017-13-14-65-73 (in Russian)
- Graamans L., Baeza E., van den Dobbelssteen A. (2023) The potential of vertical farming for urban food production in cold climates. *Journal of Cleaner Production*, 384, 135567. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.135567 (in English)
- Gürdil G.A.K., Demirel B., Eissa M.O.S. (2025) Assessing Thermal Requirements for Lebanese Greenhouses via Computational Analysis. *Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi*, 8(2). — P. 178–188. DOI: 10.55257/ethabd.1703713 (in English)
- Kahraman A., Iskender G. (2022) Thermal performance of earth-sheltered greenhouses in continental climate: A case study from Central Anatolia. *Renewable Energy*, 189. — P. 1234–1245. DOI: 10.1016/j.renene.2022.01.086 (in English)
- Kozai T., Niu G. (2020) *Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production*. 2nd ed. London: Academic Press. — 456 p. (in English)
- Mukashev A.M., Ternovaya I.S., Zahlebin A.S. (2015) Modelirovanie teplovyh rezhimov teplits [Simulation of thermal regimes of greenhouses]. *Science Time*, 11(23). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-teplovyh-rezhimov-teplits> (accessed: 08.05.2026). (in Russian)

Shamshadov S., Abilmazhinov A. (2024) Optimization of greenhouse orientation for maximum solar radiation capture in Northern Kazakhstan. *Solar Energy*, 268, 112256. DOI: 10.1016/j.solener.2024.112256 (in English)

SN RK 3.02-31-2023 (2023) Zdaniya i sooruzheniya dlya hraneniya i pererabotki sel'skohozyajstvennoj produkcii [Buildings and structures for storage and processing of agricultural products]. (in Russian)

SP 107.13330.2012 (2024) Teplitsy i parkniki. Aktualizirovannaya redaktsiya [Greenhouses and hotbeds. Updated version]. Moscow: Ministroy Rossii. — 67 p. (in Russian)

Stroitel'nyj kodeks Respubliki Kazakhstan (2026) Kodeks Respubliki Kazakhstan ot 9 yanvarya 2026 goda № 253-VIII ZRK [Construction Code of the Republic of Kazakhstan, Code of the Republic of Kazakhstan dated January 9, 2026 No. 253-VIII ZRK]. Astana: QR Parlamenti. (in Russian)

VNIIA (2012) Normativy tekhnologicheskogo proektirovaniya teplichnyh kombinatov [Standards for technological design of greenhouse complexes]. Moscow: Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut agrotekhniki. — 188 p. (in Russian)

Von Zabeltitz C. (2011) Integrated Greenhouse Systems for Mild Winters: Design, Construction and Operation. Berlin: Springer. — 346 p. (in English)

Yan S., Fazilati M.A., Toghraie D., Khalili M., Karimipour A. (2021) Energy Cost and Efficiency Analysis of Greenhouse Heating System Enhancement Using Phase Change Material: An Experimental Study. *Renewable Energy*, 170(4). — P. 112822. DOI: 10.1016/j.renene.2021.01.081 (in English)

Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the Central Asian Academic Research Center LLP

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the journals of the Central Asian Academic Research Center LLP implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The Central Asian Academic Research Center LLP follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the Central Asian Academic Research Center LLP.

The Editorial Board of the Central Asian Academic Research Center LLP will monitor and safeguard publishing ethics.

Requirements for articles design for publication in the journal are available on the websites:

**www.nauka-nanrk.kz
<http://physics-mathematics.kz/index.php/en/archive>
ISSN2518-1726 (Online),
ISSN 1991-346X (Print)**

Managing Editor: *A.Shormakova*
Editors: *D.S. Alenov, T. Apendiev*
Computer layout: *G.D. Zhadyranova*

Signed for print: June 15, 2026
Format: 70×90 1/16. 26.5 printed sheets. Order No. 2.