

ISSN: 2224-5227 (Print)  
ISSN: 2518-1483 (Online)

**ACADEMIC SCIENTIFIC  
JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE**

**№1  
2026**

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



CENTRAL ASIAN ACADEMIC  
RESEARCH CENTER



**ACADEMIC SCIENTIFIC  
JOURNAL OF COMPUTER  
SCIENCE**

**1 (357)**

**JANUARY – MARCH 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

<b>Akhmetova S.T., Yunussova A.A., Alisheva S.S., Olzhataeva B.T., Mussirepova E.B.</b> Social network data mining for automated offensive language detection.....	13
<b>Amanov A.N., Kazbekova G.N., Zhunissov N.M., Abibullayeva A.A., Aben A.B.</b> Artificial intelligence-based intrusion detection for DDOS attacks in Software Defined Networking.....	30
<b>Amanzholova S.T., Ussatova O.A., Mutanov G.M., Mukhanov S.B., Aitmukash D.</b> Backend architecture of a hybrid blockchain-based academic credential verification system.....	52
<b>Amirkhanova G.A., Nurgazy T.N., Amirkhanov B.S., Tokhtassyn M.M., Nurgazy N.N.</b> Developing a predictive digital twin for a food product based on Edge ML and IoT sensors.....	73
<b>Bekarystankyzy A., Ussen D., Kassenkhan A., Chinibayev Y.</b> Cold-start in educational recommender systems: classical and LLM-Era strategies.....	91
<b>Bimoldina Zh., Mussiraliyeva Sh., Bagitova K., Terekovska L.</b> Detection of cyber-propaganda content using machine learning and semantic models....	106
<b>Chezhimbayeva K.S.</b> Forecasting key 5G network KPIs using MLP and LSTM neural network models.....	129
<b>Dauitbayeva A.O., Konyrbaev N.B., Abildayeva Zh.T., Yessirkepova A.U., Karim N.A.</b> Development of an application to optimize the process of employment of graduates.....	148
<b>Dzhsupbekova G., Othman M., Ordabayeva G.</b> Comparative analysis of artificial intelligence algorithms to detect network attacks.....	167
<b>Issakhov A., Orazmoldayev N., Zharkynbek Y., Abylkassymova A.</b> Numerical modeling of the spread of viral infection by airborne droplets in confined spaces.....	182
<b>Kantureeva M., Omarova G.S., Duisen Z.D., Shekerbek A.A., Tulebayev Y.B.</b> Application of machine learning methods in forecasting and optimizing the processes of evacuation of people in high-rise buildings.....	202
<b>Khusain B., Telmanov M., Khusain A.B., Brodskiy A.R., Sass A.S.</b> Digital twin of an integrated emission purification and decarbonization system for thermal units.....	218
<b>Kulakayeva A., Ashurov A., Zhumazhanov B., Daineko Ye., Zylgara A.</b> Algorithm for determining the initial orbital parameters of KazeEOSat-1 for deorbiting.....	236

<b>Mimenbayeva A.B., Turebayeva R.D., Ospanova T.T., Aruova A.B., Naizagarayeva A.A.</b> Development and comparative analysis of machine learning models for urban traffic prediction.....	253
<b>Naumenko V.V., Mukanova Zh.A., Kiseleva O.V., Maintser D.A., Nerezov A.K.</b> The use of real-time polling to improve student academic performance.....	271
<b>Nazyrova A.E., Kaderkeyeva Z.K., Bekmanova G.T., Milosz M., Lamasheva Zh.</b> Transformation of education through digital technologies: advancing student academic performance across learning stages.....	287
<b>Oralbekova D., Mamyrbayev O., Akhmediyarova A., Kassymova D., Alibiyeva Z.</b> Development of a multi-level model for text summarization based on pretrained models.....	316
<b>Orazbayev B.B., Zhumadillayeva A.K., Kurbangalieva N.B., Yessirkessinov R.Zh., Orazbayeva K.N.</b> Synthesis of linguistic models for assessing sulfur quality and fuzzy modeling of the sulfur production process.....	337
<b>Sarsenbayeva A.K., Rakhimova D.R., Shormakova A.N., Mansurova M.E., Adali E.</b> Application of semantic methods in the field of legislation: an intellectual system for analysis of agglutinative texts.....	354
<b>Serek A., Shoiynbek A., Sharipov K., Kuanyshbay D., Mukhametzhano A.</b> Analysis and classification of telephone fraud based on lexical features of speech transcriptions.....	373
<b>Shynzhigit B.B., Balabekova M.O., Amangeldy T.T.</b> Analysis and forecasting of brick product sales using machine learning models.....	393
<b>Tokhayeva A.O., Alzhanov A.K., Nezh Önal, Ziyatbekova G.Z., Begalieva K.B.</b> Formation of students virtualization competencies in higher education based on Proxmox VE.....	412
<b>Tukenova L.M., Auyelbekov O.A., Sapakova S.Z., Sametova A.A., Bostanov E.L.</b> Modelling and optimisation of hybrid power plant operating modes for unmanned aerial vehicles.....	430
<b>Yerimbetova A., Berzhanova U., Daiyrbayeva E., Sakenov B., Sambetbayeva M.</b> Sign language recognition using temporal convolutional network and MediaPipe.....	443
<b>Zhukabayeva T.K., Benkhelifa E., Mardenov Y.M., Baumuratova D., Karabayev N.</b> Decision support for responding to attacks in cyber-physical industrial internet-of-things systems.....	461

## МАЗМҰНЫ

### ИНФОРМАТИКА

<b>Ахметова С.Т., Юнусова А.А., Алишева С.С., Олжатаева Б.Т., Мүсірепова Э.Б.</b> Әлеуметтік желідегі бейәдеп пікірлерді автоматты анықтауда деректерді интеллектуалды талдау.....	13
<b>Аманов А.Н., Казбекова Г.Н., Жунисов Н.М., Абибуллаева А.А., Абен А.Б.</b> Бағдарламалық жасақтамамен анықталған желідегі DDOS шабуылдары үшін жасанды интеллектке негізделген шабуылдарды анықтау.....	30
<b>Аманжолова С.Т., Усатова О.А., Мутанов Г.М., Муханов С.Б., Айтмукаш Д.</b> Гибридтік блокчейнге негізделген академиялық сенімдік деректерді тексеру жүйесінің бекендік архитектурасы.....	52
<b>Амирханова Г.А., Нұрғазы Т.Н., Амирханов Б.С., Нұрғазы Н. Н.</b> EDGE ML және IOT сенсорлары негізінде азық-түлік өнімінің предиктивті цифрлық егізін әзірлеу.....	73
<b>Бекарыстанқызы А., Үсен Д., Қасенхан А., Чинибаев Е.</b> Білім беру саласындағы ұсынымдық жүйелеріндегі «Cold-start» мәселесі: классикалық әдістер және LLM дәуірінің стратегиялары.....	91
<b>Бимолдина Ж.А., Мусиралиева Ш.Ж., Багитова К.Б., Терейковская Л.З</b> Кибернасихаттық контентті анықтау үшін машиналық оқыту және семантикалық модельдер қолдану.....	106
<b>Чечимбаева К.С.</b> MLP және LSTM нейрондық желі модельдерін қолдана отырып, 5G желісінің негізгі KPI-лерін болжау.....	129
<b>Дәуітбаева А.О., Қоңырбаев Н.Б., Әбілдаева Ж.Т., Есіркепова А.У., Кәрім Н.Ә.</b> Бітіруші түлектердің жұмысқа орналастыру процесін оңтайландыру үшін қосымша әзірлеу.....	148
<b>Джусупбекова Г., Othman M., Ордабаева Г.</b> Жасанды интеллект алгоритмдерін желілік шабуылдарды анықтау үшін салыстырмалы талдау.....	167
<b>Исахов А.А., Оразмолдаев Н., Жаркынбек Е., Абылкасымова А.</b> Ауа тамшылары арқылы вирустық инфекцияның шектеулі кеңістікте таралуын сандық модельдеу.....	182
<b>Қантурсева М.А., Омарова Г.С., Дүйсен Ж.Д., Шекербек А.Ә., Түлебаев Е.Б.</b> Биік ғимараттардағы адамдарды эвакуациялау процестерін болжау және оңтайландыруда машиналық оқыту әдістерін қолдану.....	202

<b>Хусаин Б., Тельманов М.М., Хусаин А.Б., Бродский А.Р., Сасс А.С.</b> Жылу қондырғыларының шығарындыларын кешенді тазалау және декарбонизациялау жүйесінің цифрлық егізі.....	218
<b>Кулакаева А.Е., Ашуров А.Е., Жумажанов Б.Р., Дайнеко Е.А., Зылғара А.Е.</b> КАZEOSAT-1 ғарыш аппаратының деорбитациясын жүзеге асыру үшін бастапқы орбиталық параметрлерін анықтау алгоритмі.....	236
<b>Мименбаева А.Б., Туребаева А.Д., Оспанова Т.Т., Аруова А.Б., Найзағарасва А.А.</b> Қалалық көлік ағынын болжауға арналған машиналық оқыту модельдерін әзірлеу және салыстырмалы талдау.....	253
<b>Науменко В.В., Муканова Ж.А., Киселева О.В., Майнцер Д.А., Нерезов А.К.</b> Білім алушылардың үлгерімін арттыру үшін real-time сауалнамаларын қолдану.....	271
<b>Назырова А.Е., Кадеркеева З.К., Бекманова Г.Т., Милош М., Ламашева Ж.Б.</b> Цифрлық білім және студенттердің академиялық жетістіктері: деңгейлер бойынша білім беруді дамыту.....	287
<b>Оралбекова Д., Мамырбаев О., Ахмедиярова А., Қасымова Д.З, Алибиева Ж.,</b> Алдын ала оқытылған модельдер негізінде мәтінді резюмелеуге арналған көпдеңгейлі модельді әзірлеу.....	316
<b>Оразбаев Б.Б., Жумадиллаева А.К., Курбанғалиева Н.Б., Оразбаева К.Н.</b> Күкірт сапасын бағалаудың лингвистикалық модельдерін синтездеу және күкіртті өндіру процесін бұлыңғыр модельдеу.....	337
<b>Сарсенбаева А.К., Рахимова Д.Р., Шормакова А.Н., Мансурова М.Е., Адали Э.</b> Семантикалық әдістерді заңнама саласында қолдану: агглютинативті мәтіндерді талдауға арналған интеллектуалды жүйе.....	354
<b>Серек А., Шойынбек А., Шарипов К., Қуанышбай Д., Мухаметжанов А.</b> Сөйлеу транскрипцияларының лексикалық белгілеріне негізделген телефон алаяқтықтарын талдау және жіктеу.....	373
<b>Шынжігіт Б.Б., Балабекова М.О., Амангелді Т.Т.</b> Кірпіш өнімдерін сату көлемдерін машиналық оқытуда талдау және болжамдау.....	393
<b>Тохаева А.О., Альжанов А.К., Nezir Ö., Зиятбекова Г.З., Бегалиева К.Б.</b> PROXMOX VE негізінде жоғары оқу орындарында білім алушыларды виртуалдандыру құзыреттерін қалыптастыру.....	412

<b>Төкенова Л.М., Әуелбеков О.А., Сапақова С., Саметова А.А., Бостанов Е.Л.</b> Пилотсыз ұшу аппараттарына арналған гибриді электр станцияларының жұмыс режимдерін модельдеу және оңтайландыру.....	430
<b>Еримбетова А.С., Бержанова У.Г., Дайырбаева Э.Н., Сәкенов Б.Е., Самбетбаева М.А.</b> Уақытша конволюциялық желі мен media pipe көмегімен ым тілін тану.....	443
<b>Жукабаева Т.К., Бенхелифа Э., Марденов Е.М., Баумуратова Д., Карабаев Н.</b> Киберфизикалық өнеркәсіптік интернет заттары жүйелеріндегі шабуылдарға әрекет ету кезінде шешім қабылдауды қолдау.....	461

## СОДЕРЖАНИЕ

## ИНФОРМАТИКА

<b>Ахметова С.Т., Юнусова А.А., Алишева С.С., Олжатаева Б.Т., Мүсірепова Э.Б.</b> Интеллектуальный анализ данных для автоматического выявления языка ненависти в социальных сетях.....	13
<b>Аманов А.Н., Казбекова Г.Н., Жунисов Н.М., Абибуллаева А.А., Абен А.Б.</b> Обнаружение вторжений на основе искусственного интеллекта для DDoS-атак в программно-определяемых сетях.....	30
<b>Аманжолова С.Т., Усатова О.А., Мутанов Г.М., Муханов С.Б., Айтмукаш Д.</b> Бэкенд-архитектура гибридной системы проверки академических достижений на основе блокчейна.....	52
<b>Амирханова Г.А., Нургазы Т.Н., Амирханов Б.С., Нургазы Н.Н.</b> Разработка предиктивного цифрового двойника пищевого продукта на основе Edge ML и IoT-сенсоров.....	73
<b>Бекарыстанқызы А., Үсен Д., Қасенхан А., Чинибаев Е.</b> Холодный старт в системах рекомендаций в области образования: классические подходы и стратегии эпохи LLM.....	91
<b>Бимолдина Ж.А., Мусиралиева Ш.Ж., Багитова К.Б., Терейковская Л.</b> Использование машинного обучения и семантических моделей для обнаружения киберпропагандистского контента.....	106
<b>Чечимбаева К.С.</b> Прогнозирование ключевых KPI сетей 5G на основе нейросетевых моделей MLP и LSTM.....	129
<b>Даутбаева А.О., Конырбаев Н.Б., Абильдаева Ж.Т., Есиркепова А.У., Карим Н.А.</b> Разработка приложения для оптимизации процесса трудоустройства выпускников.....	148
<b>Джусупбекова Г., Othman M., Ордабаева Г.</b> Сравнительный анализ алгоритмов искусственного интеллекта для обнаружения сетевых атак.....	167
<b>Исахов А.А., Оразмолдаев Н., Жаркынбек Е., Абылкасымова А.</b> Численное моделирование распространения вирусной инфекции воздушно-капельным путём в замкнутых помещениях.....	182

<b>Кантуреева М.А., Омарова Г.С., Дүйсен Ж.Д., Шекербек А.Ә., Тулебаев Е.Б.</b> Использование методов машинного обучения для прогнозирования и оптимизации процессов эвакуации людей в высотных зданиях.....	202
<b>Хусаин Б., Тельманов М.М., Хусаин А.Б., Бродский А.Р., Сасс А.С.</b> Цифровой двойник комплексной системы очистки и декарбонизации выбросов тепловых установок.....	218
<b>Кулакаева А.Е., Ашуров А.Е., Жумажанов Б.Р., Дайнеко Е.А., Зылгара А.Е.</b> Алгоритм определения начальных орбитальных параметров KazEOSat-1 для деорбитации.....	236
<b>Мименбаева А.Б., Туребаева А.Д., Оспанова Т.Т., Аруова А.Б., Найзагараева А.А.</b> Разработка и сравнительный анализ моделей машинного обучения для прогнозирования городского трафика.....	253
<b>Науменко В.В., Муканова Ж.А., Киселёва О.В., Майнцер Д.А., Нерезов А.К.</b> Применение опросов в режиме реального времени для повышения успеваемости обучающихся.....	271
<b>Назырова А.Е., Кадеркеева З.К., Бекманова Г.Т., Милош М., Ламашева Ж.Б.</b> Цифровое образование и академическая успеваемость учащихся: межуровневый анализ.....	287
<b>Оралбекова Д., Мамырбаев О., Ахмедиярова А., Касымова Д., Алибиева Ж.</b> Разработка многоуровневой модели для абстрактивного резюмирования текста на основе предварительно обученных моделей.....	316
<b>Оразбаев Б.Б., Жумадиллаева А.К., Курбангалиева Н.Б., Есиркесинов Р.Ж., Оразбаева К.Н.</b> Синтез лингвистических моделей оценки качества серы и нечёткое моделирование процесса её производства.....	337
<b>Сарсенбаева А.К., Рахимова Д.Р., Шормакова А.Н., Мансурова М.Е., Адали Э.</b> Применение семантических методов в юридическом анализе: интеллектуальная система для обработки агглютинативных текстов.....	354
<b>Серек А., Шойынбек А., Шарипов К., Куанышбай Д., Мухаметжанов А.</b> Анализ и классификация телефонного мошенничества на основе лексических признаков речевых транскрипций.....	373
<b>Шынжігіт Б.Б., Балабекова М.О., Амангелді Т.Т.</b> Анализ и прогнозирование объёмов продаж кирпичной продукции с использованием машинного обучения.....	393

<b>Тохаева А.О., Альжанов А.К., Nezih Ö., Зиятбекова Г.З., Бегалиева К.Б.</b> Формирование компетенций в области виртуализации у обучающихся в высшем образовании на основе платформы Proxmox VE.....	412
<b>Тукенова Л.М., Ауелбеков О.А., Сапакова С.З., Саметова А.А., Бостанов Е.Л.</b> Моделирование и оптимизация режимов работы гибридных силовых установок для беспилотных летательных аппаратов.....	430
<b>Еримбетова А.С., Бержанова У.Г., Дайырбаева Э.Н., Сакенов Б.Е., Самбетбаева М.А.</b> Распознавание языка жестов с использованием временных свёрточных сетей и MediaPipe4.....	43
<b>Жукабаева Т.К., Бенхелифа Э., Марденов Е.М., Баумуратова Д., Карабаев Н.</b> Поддержка принятия решений при реагировании на атаки в киберфизических промышленных системах интернета вещей.....	461

ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE  
ISSN 1991-346X  
Volume 1.  
Number 357 (2026). 393–411

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1726.419>

IRSTI: 20.23.27  
UDC 004.93

© **Shynzhigit B.B., Balabekova M.O.\*, Amangeldy T.T., 2026.**

M. Auezov South-Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan.

E-mail: dadyiba@mail.ru

## ANALYSIS AND FORECASTING OF BRICK PRODUCT SALES USING MACHINE LEARNING MODELS

**Shynzhigit Bekmurat**— doctoral student (PhD) at the department of Automation, Telecommunications and Control, M. Auezov South-Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan,  
E-mail: bekmuratsinzigit@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-2970-9967>;

**Balabekova Madina** — candidate of technical sciences, assistant professor at the department of Automation, Telecommunications and Control, M. Auezov South-Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: dadyiba@mail.ru , 870531949086, <https://orcid.org/0000-0002-5558-3472>;

**Amangeldy Togzhan** — doctoral student (PhD) at the department of Automation, Telecommunications and Control, M. Auezov South-Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan,  
E-mail: togzhan.amangeldil@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-5081-9466>.

**Abstract.** This article examines in detail the problem of mathematical modeling and forecasting the sales volume of brick products for an industrial enterprise under conditions of high market volatility and a limited empirical database. The study relevance determined by the need to shift management processes in the construction industry from intuitive and heuristic approaches to formalized computational models, which make it possible to increase the validity of managerial decision-making. Within the engineering paradigm, advertising factors are regarded as manageable input parameters of a multifaceted production-economic system, while the system's output corresponds to the volume of product sales. To resolve the formulated task, a polynomial regression technique realized in a machine-learning setting is utilized. The model is constructed in an expanded feature space that encompasses nonlinear terms and interaction effects among factors, thus allowing separate evaluation of each advertising channel as well as their joint influence. Construction of the feature set, model fitting, and performance evaluation are carried out with the Scikit-learn library, employing conventional regression diagnostics - mean absolute error and mean squared error—to gauge adequacy. The main study result is the empirical confirmation of a synergistic effect of advertising factors on sales volume that cannot be identified by linear models. It has been shown that employing polynomial

regression lowers prediction errors and enhances model stability even when data are scarce. These findings can inform the design of decision-support tools for scheduling advertising initiatives, projecting sales volumes, and refining marketing tactics in firms that manufacture construction materials.

**Keywords:** sales forecasting, polynomial regression, data analysis, statistical modeling, advertising activity, ceramic brick

*For citations: Shynzhigit B.B., Balabekova M.O., Amangeldy T.T. Analysis and forecasting of brick product sales using machine learning models. Academic Scientific Journal of Computer Science, 2026. — No.1. — P. 393–411. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1726.419>*

© Шынжігіт Б.Б., Балабекова М.О.\*, Амангелді Т.Т., 2026.

М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті,

Шымкент, Қазақстан.

E-mail: [dadyiba@mail.ru](mailto:dadyiba@mail.ru)

## **КІРПІШ ӨНІМДЕРІН САТУ КӨЛЕМДЕРІН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДА ТАЛДАУ ЖӘНЕ БОЛЖАМДАУ**

**Шынжігіт Бекмұрат** — «Автоматтандыру, телекоммуникация және басқару» кафедрасының докторанты, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан ғылыми-зерттеу университеті, Шымкент, Қазақстан,

E-mail: [bekmuratsinzigit@gmail.com](mailto:bekmuratsinzigit@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0001-2970-9967>;

**Балабекова Мадина** — техника ғылымдарының кандидаты, «Автоматтандыру, телекоммуникация және басқару» кафедрасының доценті, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан ғылыми-зерттеу университеті, Шымкент, Қазақстан,

E-mail: [dadyiba@mail.ru](mailto:dadyiba@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5558-3472>;

**Амангелді Тоғжан** — «Автоматтандыру, телекоммуникация және басқару» кафедрасының докторанты, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан ғылыми-зерттеу университеті, Шымкент, Қазақстан,

E-mail: [togzhan.amangeldi1@mail.ru](mailto:togzhan.amangeldi1@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0001-5081-9466>.

**Аннотация.** Бұл мақалада нарықтың үнемі өзгеріп отыратындығы, эмпирикалық мәліметтердің шектеулі кезінде кірпіш өнімдерін өндіретін мекемелердің сатылым көлемін математикалық модельдеу, болжам жасау мәселесі талқыланады. Құрылыс саласындағы басқару шешімдерін нақтылау мақсатында интуитивтік, эвристикалық әдіс-тәсілдерін фортальді түрде есептеу модельдеріне қарай өту қажеттілігімен айқындалып, анықталады. Инженерлік практикалық көзқараспен жарнамалық белсенділік өндірістік-экономикалық жасалатын жүйенің басқаруға мүмкіндік беретін кіріс параметрлерінің бір тұтас жиыны болып табылады. Бұл параметрлердің өзгеруі өнімдердің сатылу көлемі, соңында анықталатын жалпы қорытынды нәтижесіне әсер етеді. Параметрлердің бір-біріне тәуелділігі полиномдық регрессия модельдеудің көмегімен зерттелді. Нәтижелік модельді жасау

кезінде сызықтық, сызықтық емес тәуелділіктер қарастырылды. Сонымен қатар, әрбір факторлардың бір-біріне байланыстары да модельге енгізілді. Бұл әдістің көмегімен жарнаманың әрбір каналының сатылымға қалай әсер ететіндігін жеке-жеке қарастыруға болады. Сондай-ақ, олардың сатылым көлеміне қалай әсер ететіндігін бағалауға, басқаруға мүмкіндік береді. Нәтижесінде алынған модельді оқыту, қасиеттер кеңістігін жасау, модельдің сапасын бақылау, бағалау Scikit-learn кітапханасының көмегімен жүзеге асырылды. Орташа абсолюттік қателік және орташа квадраттық ауытқу деген регрессиялық талдаудың стандартты метрикалары тиімді критерийлері болып табылды. Сызықтық модельдеудің көмегімен анықталмайтын, жарнамалық факторлардың өнімдердің сатылу мөлшеріне синергетикалық әсерінің бар болғандығы жөніндегі гипотеза эксперимент жасау арқылы расталады. Бұл гипотезаның дәлелденуі зерттеудің ең басты қорытынды нәтижесі. Полиномдық регрессияны қолдану арқылы болжау қателіктерін барынша азайтуға, модельдің бір қалыптылығын сақтауға септігін тигізеді. Яғни, енгізілетін негізгі мәлеметтер көлемі шектеулі болған кезде ғана іске асады. Құрылыс саласындағы кәсіпорындарға арнап жарнамалық науқандарын жоспарлауға арналған нақты шешім қабылдау жүйелерін құрастырып, пайдалануға ұсыну зерттеудің нәтижесі болып табылады. Сонымен қатар сатылым мөлшерін болжауға себеп болатын модельдерді, жүйелерді құрастыруға да қолданылады. Нәтижеде алынған бағалаулар маркетингтік стратегияларды өңдеуге және сатылым процессін басқарудың тиімділігін арттыруға негіз болады.

**Түйін сөздер:** сатылымды болжау, полиномиальді аппроксимация, мәліметтерді талдау, статистикалық модельдеу, жарнамалық белсенділік, керамикалық кірпіш

© Шынжігіт Б.Б., Балабекова М.О.\*, Амангелді Т.Т., 2026.

Южно-Казахстанский исследовательский университет имени М. Ауэзова,  
Шымкент, Казахстан.  
E-mail: dadyiba@mail.ru

## **АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБЪЕМОВ ПРОДАЖ КИРПИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

**Шынжігіт Бекмұрат** — докторант кафедры «Автоматизации, телекоммуникации и управления», Южно-Казахстанский научно-исследовательский университет имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,  
E-mail: bekmuratsinigit@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-2970-9967>;

**Балабекова Мадина** — кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизации, телекоммуникации и управления», Южно-Казахстанский научно-исследовательский университет имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,  
E-mail: dadyiba@mail.ru , 870531949086, <https://orcid.org/0000-0002-5558-3472>;

**Амангелді Тогжан** — докторант кафедры «Автоматизации, телекоммуникации и управления», Южно-Казахстанский научно-исследовательский университет имени М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан,  
E-mail: togzhan.amangeldi1@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-5081-9466>.

**Аннотация.** В статье рассматривается задача математического моделирования и прогнозирования объёмов продаж кирпичной продукции промышленного предприятия в условиях высокой изменчивости рыночной среды и ограниченности эмпирических данных. Актуальность исследования обусловлена необходимостью перехода от интуитивных и эвристических методов управления к формализованным вычислительным моделям, обеспечивающим повышение обоснованности управленческих решений в строительной индустрии. В работе рекламные расходы рассматриваются как управляемые факторы, влияющие на объём продаж продукции. Изменение затрат на рекламу непосредственно отражается на уровне реализации. Для анализа данной зависимости применена полиномиальная регрессионная модель, позволяющая учитывать как линейные, так и нелинейные эффекты, а также взаимодействие между различными рекламными каналами. Предложенный подход позволяет оценить вклад каждого канала рекламы и определить их синергетическое влияние на объём продаж. Формирование признакового пространства, обучение модели и оценка её качества выполнены с использованием библиотеки Scikit-learn. В качестве критериев эффективности использованы стандартные метрики регрессионного анализа, включая среднюю абсолютную ошибку (MAE) и среднеквадратическую ошибку (RMSE). Ключевым результатом исследования является экспериментальное подтверждение наличия синергетического эффекта рекламных факторов, который не выявляется в рамках линейных моделей. Применение полиномиальной регрессии позволило снизить ошибку прогнозирования и обеспечить устойчивость модели даже при ограниченном объёме исходных данных. Разработанная модель может быть интегрирована в системы поддержки принятия решений, используемые при планировании рекламных кампаний и прогнозировании объёмов продаж на предприятиях строительной отрасли. Полученные результаты также могут применяться для корректировки маркетинговой стратегии и повышения эффективности управления продажами.

**Ключевые слова:** прогноз продаж, полиномиальная аппроксимация, анализ данных, статистическое моделирование, рекламная активность, керамический кирпич

**Введение.** В последние годы на промышленных предприятиях всё чаще используются цифровые методы анализа данных. Их применение расширяет возможности анализа и прогнозирования технико-экономических показателей предприятий строительной индустрии. Предприятия работают в условиях высокой динамики рынка и ограниченности ресурсов. Управленческие реше-

ния нередко приходится принимать быстро. В таких условиях интуитивные и эмпирические методы управления оказываются недостаточными. Поэтому всё большее значение приобретают формализованные вычислительные модели (Armstrong, 2017; Makridakis, 2018). Для кирпичных заводов, расположенных в регионах с активным строительством, особую роль играют модели прогнозирования спроса. Такие модели позволяют оценивать возможные объёмы реализации продукции с учётом внешних и управляемых факторов (Montgomery, 2015; Hyndman, 2021). Объёмы продаж кирпичной продукции напрямую влияют на работу предприятия. От них зависит планирование производственных мощностей. Они также определяют загрузку технологических линий, организацию перевозок и финансовую устойчивость предприятия.

В условиях колебаний спроса и усиления конкурентной среды отсутствие достоверного прогноза может приводить к перерасходу ресурсов или недоиспользованию производственного потенциала. К числу управляемых факторов, влияющих на объёмы продаж, относятся рекламные воздействия, реализуемые через различные информационные каналы. Обычно рекламная активность рассматривается в рамках экономического анализа и маркетинговых исследований. Однако с инженерной точки зрения её можно представить как входной параметр сложной системы, формирующей выходной показатель - объём продаж. В этом случае рекламные бюджеты выступают как количественно измеримые управляющие воздействия. Они влияют на состояние системы и могут изменять динамику продаж во времени. Воздействие рекламных каналов имеет нелинейный характер. Кроме того, между различными каналами могут возникать взаимные зависимости (Ваеске, 2013; Smagulov, 2022). Эффективность одного рекламного инструмента часто меняется при одновременном использовании другого. В результате возникает совместный эффект воздействия каналов рекламы. Что сложно описать с помощью классических линейных моделей. Линейные модели предполагают независимое и аддитивное влияние факторов и поэтому не всегда отражают реальную структуру взаимодействия рекламных каналов.

Проблемная ситуация, характерная для кирпичного завода ТОО «Батсу» города Шымкент, заключается в отсутствии алгоритмически обоснованного инструмента прогнозирования продаж, способного учитывать нелинейные эффекты и взаимодействие рекламных факторов. На практике для анализа часто используются эмпирические оценки и линейные методы. Однако такие методы не всегда позволяют точно описать связь между входными параметрами системы и итоговым показателем. В этом случае часть взаимосвязей между факторами может оставаться неучтённой. Особенно это касается ситуаций, когда влияние факторов имеет сложный или нелинейный характер. Это ограничивает возможности оптимизации управленческих решений и затрудняет планирование рекламной активности (Breiman, 2001; Ivanov, 2019).

С точки зрения технических наук данная задача относится к классу задач

регрессионного моделирования с расширенным пространством признаков, где требуется обеспечить баланс между точностью аппроксимации и устойчивостью модели. В подобных задачах большое значение имеет выбор метода моделирования. Метод должен учитывать возможные нелинейные зависимости между параметрами системы. При этом важно, чтобы модель оставалась вычислительно эффективной. Кроме того, результаты должны быть понятны и легко интерпретироваться.

Методы машинного обучения, и, в частности, полиномиальная регрессия, предоставляют инструментарий для формализации подобных зависимостей за счёт автоматического формирования нелинейных и взаимодействующих признаков (Hastie, 2009; Vapnik, 1998). При этом модель сохраняет линейность по параметрам. Благодаря этому можно применять стандартные методы оптимизации и анализировать коэффициенты. Это свойство особенно важно для инженерных задач. В таких задачах алгоритмы должны быть понятными и прозрачными. Кроме того, результаты вычислений должны легко воспроизводиться. Таким образом, возникает необходимость разработки и экспериментальной апробации алгоритма прогнозирования объёмов продаж кирпичной продукции на основе рекламных данных с использованием методов машинного обучения, ориентированного на инженерную интерпретацию и практическую реализацию.

Целью настоящего исследования является разработка, реализация и оценка эффективности модели прогнозирования объёмов продаж кирпичной продукции предприятия ТОО «БАТСУ» города Шымкент на основе полиномиальной регрессии с использованием методов машинного обучения. В рамках исследования решаются задачи формирования расширенного пространства признаков, выбора оптимальной сложности модели и анализа её устойчивости при изменении входных параметров.

**Литературный обзор.** В научной литературе широко рассматривается задача прогнозирования объёмов продаж промышленной продукции на основе количественных факторов. Подобные исследования обычно связаны с анализом спроса и поддержкой управленческих решений. Во многих работах для решения этой задачи применяются линейные регрессионные модели. В таких моделях объём продаж описывается как функция ограниченного числа факторов. Чаще всего учитываются ценовые и маркетинговые показатели (Armstrong, 2017; Breiman, 2001). Основным преимуществом этих моделей является простота их использования. Кроме того, полученные коэффициенты легко интерпретируются. Благодаря этому линейная регрессия долгое время остаётся одним из наиболее распространённых инструментов анализа. Однако подобный подход имеет и определённые ограничения. На практике влияние факторов нередко оказывается нелинейным. Кроме того, между отдельными параметрами могут возникать взаимные зависимости, которые линейные модели описывают недостаточно точно. В современных исследованиях всё больше внимания уделяется влиянию рекламных воздействий на формирова-

ние спроса. Отмечается, что использование разных каналов продвижения может оказывать совместное влияние на объёмы продаж (Baescke, 2013; Smagulov, 2022).

Эмпирические наблюдения показывают, что вклад отдельных рекламных инструментов не всегда складывается линейно. Эффективность одного канала может заметно меняться, если одновременно используются другие способы продвижения.

В этой связи в литературе всё чаще используются модели с расширенным пространством признаков, включающие перекрёстные и нелинейные компоненты, позволяющие количественно оценить совместное влияние факторов (Hastie, 2009, Kuhn, 2013).

С развитием методов машинного обучения для задач прогнозирования спроса активно применяются нейронные сети, деревья решений и ансамблевые алгоритмы, демонстрирующие высокую точность на больших объёмах данных (Chen, 2016; Makridakis, 2018). Однако ряд авторов подчёркивает, что использование подобных методов на уровне отдельных промышленных предприятий осложняется ограниченностью выборки и снижением интерпретируемости моделей (Kenzhebaev, 2021; Kuznetsov, 2018). В условиях малых выборок чрезмерная сложность алгоритмов может приводить к переобучению и нестабильности прогнозов.

В рассматриваемой задаче применяется полиномиальная регрессия. Этот метод относится к моделям средней сложности. Он сочетает элементы классического регрессионного анализа и отдельных методов машинного обучения (Akhmetov, 2020; Ivanov, 2019). В основе подхода лежит расширение исходного набора признаков. Полиномиальные преобразования позволяют формировать дополнительные переменные. Благодаря этому становится возможным учитывать нелинейные зависимости между факторами. Кроме того, можно описывать их совместное влияние. При этом структура модели остаётся линейной по параметрам. Это упрощает анализ коэффициентов и делает результаты более понятными для интерпретации. Анализ научных публикаций показывает, что подобный подход успешно применяется при моделировании производственно-экономических процессов.

Это особенно важно в условиях ограниченного объёма исходных данных (Breiman, 2001; Hastie, 2009). Поэтому использование данного метода является обоснованным для решения задач, рассматриваемых в исследовании.

**Материалы и методы.** В рамках настоящего исследования задача анализа и прогнозирования объёмов продаж кирпичной продукции формализуется как задача регрессионного моделирования с расширенным пространством признаков (Hastie, 2009; Vapnik, 1998). Предполагается, что результирующий показатель формируется под воздействием нескольких входных факторов, влияние которых носит нелинейный характер и может сопровождаться взаимным взаимодействием. В таких условиях применение классических линейных моделей оказывается недостаточным, поскольку они не позволяют

учитывать комбинированное влияние факторов и приводят к систематическим ошибкам аппроксимации.

В качестве базового метода моделирования выбрана полиномиальная регрессия, представляющая собой линейную модель в расширенном признаковом пространстве (Hastie, 2009; Kuhn, 2013). Выбор этого метода связан с его особенностями. Он позволяет автоматически формировать нелинейные признаки и учитывать взаимодействие факторов. При этом модель сохраняет линейность по параметрам. Это делает алгоритм вычислительно устойчивым. Кроме того, коэффициенты модели остаются понятными и могут быть интерпретированы. Для оценки параметров можно применять стандартные методы оптимизации.

Следует отметить, что увеличение степени полинома приводит к росту размерности признакового пространства и, как следствие, к повышению риска переобучения модели. В связи с этим в работе используется подход, основанный на подборе оптимальной степени полинома по результатам анализа ошибок на обучающей и тестовой выборках. Такой подход помогает сохранить баланс между точностью аппроксимации и способностью модели корректно работать с новыми данными.

В работе для реализации алгоритмов машинного обучения применялась библиотека Scikit-learn. Она включает набор инструментов для обработки данных и построения моделей. С её помощью можно формировать полиномиальные признаки и строить регрессионные модели (Pedregosa, 2011).

Применение этой библиотеки позволяет корректно реализовать алгоритмы и обеспечивает воспроизводимость вычислений. Исходные данные были представлены в виде табличной выборки. В неё входили затраты на рекламу по трём каналам: телевидение, радио и интернет. В качестве целевой переменной рассматривался объём продаж кирпичной продукции в натуральном выражении. Временной фактор в модель не включался, так как основной задачей было изучение влияния рекламных затрат на объём продаж. Подготовка данных проводилась поэтапно. На первом этапе формировались матрица признаков и вектор отклика. Далее выполнялось создание полиномиальных признаков. После этого исходные данные разделялись на обучающую и тестовую выборки. На заключительном этапе проводилось обучение регрессионной модели. Затем оценивалось качество полученных прогнозов.

Оценка эффективности модели выполнялась с использованием стандартных метрик регрессии - средней абсолютной ошибки и среднеквадратического отклонения (Montgomery, 2015; Wooldridge, 2016). Оптимальная степень полинома выбиралась на основе анализа значений используемых метрик. При этом рассматривалась зависимость метрик от сложности модели. Такой анализ позволил определить момент перехода от недообучения к переобучению.

### *1. Характеристика данных и формирование исходных признаков*

Эмпирической базой исследования послужили данные, сформированные на основе фактической информации о рекламной активности и объёмах

продаж кирпичной продукции ТОО «БАТСУ» из базы данных base.csv. Набор данных включал следующие переменные: затраты на рекламу по каналам телевидение, радио и интернет, временной параметр, характеризующий период реализации продукции, а также целевую переменную sales\_bricks (pc). В выборку вошли 14 наблюдений. Такой объём данных отражает реальные условия, в которых нередко работают отдельные промышленные предприятия (Hyndman, 2021; Makridakis, 2018). Несмотря на ограниченное количество наблюдений, полученные данные представляют практический интерес. Они основаны на фактических управленческих решениях и результатах проведённых рекламных кампаний.

При построении регрессионной модели временной фактор не включался в число объясняющих переменных (Montgomery, 2015). Основная задача исследования заключалась в анализе влияния рекламных затрат. Поэтому временная динамика показателей в модели не рассматривалась. Это позволило сосредоточить анализ на зависимости между объёмом продаж и рекламными расходами. Подготовка данных проводилась поэтапно. На первом этапе исходный набор данных был разделён на матрицу признаков и вектор целевой переменной (рисунок 1).

В матрицу признаков включались все столбцы, за исключением sales\_bricks (pc) и временного параметра time. В качестве целевой переменной использовался объём реализованной продукции. Эти значения применялись при построении модели. Определение целевой переменной является важным этапом подготовки данных. Оно позволяет сформировать корректную структуру информации, которая используется при дальнейшем моделировании.

```
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns

df = pd.read_csv("base.csv")

df.head()
```

	TV	radio	internet	sales_bricks(pc)	time
0	808076	1190848	2254106	2466996	Jan 2025
1	4791406	385515	330441	3242480	Feb 2025
2	3034860	535564	892606	2676996	Mar 2025
3	1998312	1712839	1998312	3462480	Apr 2025
4	944126	2541877	3776504	3885840	May 2025

Рисунок 1 – Сформированные входные признаки и целевая переменная

## 2. Формализация и анализ полиномиальных признаков

Для расширения пространства признаков использовалась библиотека Scikit-learn. В частности, применялись её инструменты для предварительной обработки данных. В качестве инструмента генерации полиномиальных признаков был выбран класс PolynomialFeatures (Hastie, 2009; Pedregosa, 2011). На рисунке 2 показано создание экземпляра данного класса,

позволяющего задать степень полинома и автоматически сформировать все соответствующие комбинации признаков. Вызов метода `fit` для объекта `PolynomialFeatures` применялся исключительно для анализа структуры входных данных. На данном этапе обучение модели ещё не проводилось. На этом этапе формировались полиномиальные признаки. В дальнейшем они применялись при построении регрессионной модели.

```
from sklearn.preprocessing import PolynomialFeatures

polynomial_converter = PolynomialFeatures(degree=2,include_bias=False)

polynomial_converter.fit(X)

PolynomialFeatures(include_bias=False)
```

Рисунок 2 – Настройка полиномиального преобразования признаков

В работе использовался полином второй степени. При таком преобразовании в модель включаются исходные признаки, их попарные произведения и квадратичные члены. Это позволяет учитывать возможные нелинейные зависимости между факторами. При этом модель остаётся устойчивой, а её коэффициенты сохраняют понятную интерпретацию (Ваеске, 2013; Kuhn, 2013).

Непосредственное преобразование исходной матрицы признаков осуществлялось с помощью метода `transform`, в результате чего была сформирована новая матрица полиномиальных признаков. Сравнение размерности исходного и преобразованного наборов данных показало, что при неизменном числе наблюдений количество признаков увеличилось с трёх до девяти (рисунок 3).

```
polynomial_converter.transform(X)

array([[ 8.08076000e+05,  1.19084800e+06,  2.25410600e+06,  6.52986822e+11,
         9.62295688e+11,  1.82148896e+12,  1.41811896e+12,  2.68429762e+12,
         5.08099386e+12],
       [ 4.79140600e+06,  3.85515000e+05,  3.30441000e+05,  2.29575715e+13,
         1.84715888e+12,  1.58327699e+12,  1.48621815e+11,  1.27389962e+11,
         1.09191254e+11],
       [ 3.03486000e+06,  5.35564000e+05,  8.92606000e+05,  9.21037522e+12,
         1.62536176e+12,  2.70893425e+12,  2.86828798e+11,  4.78047640e+11,
         7.96745471e+11],
       [ 1.99831200e+06,  1.71283900e+06,  1.99831200e+06,  3.99325085e+12,
         3.42278673e+12,  3.99325085e+12,  2.93381744e+12,  3.42278673e+12,
         3.99325085e+12],
       [ 9.44126000e+05,  2.54187700e+06,  3.77650400e+06,  8.91373904e+11,
         2.39985216e+12,  3.56549562e+12,  6.46113868e+12,  9.59940866e+12,
         1.42619825e+13],
       [ 2.68775800e+06,  7.16735000e+05,  1.07510300e+06,  7.22404307e+12,
         1.92641023e+12,  2.88961669e+12,  5.13709060e+11,  7.70563949e+11,
         1.15584646e+12],
       [ 3.72971400e+06,  2.07206000e+05,  1.24323800e+06,  1.39107665e+13,
         7.72819119e+11,  4.63692217e+12,  4.29343264e+10,  2.57606373e+11,
         1.54564072e+12],
```

```
[6.89185000e+05, 3.64283600e+06, 5.51348200e+06, 4.74975964e+11,
2.51058793e+12, 3.79980909e+12, 1.32702541e+13, 2.00847107e+13,
3.03984838e+13],
[2.96646400e+06, 1.72054900e+06, 1.24591500e+06, 8.79990866e+12,
5.10394667e+12, 3.69596199e+12, 2.96028886e+12, 2.14365781e+12,
1.55230419e+12],
[4.52640200e+06, 7.44850000e+05, 4.58370000e+05, 2.04883151e+13,
3.37149053e+12, 2.07476688e+12, 5.54801522e+11, 3.41416894e+11,
2.10103057e+11],
[3.49279100e+06, 8.49598000e+05, 3.77599000e+05, 1.21995890e+13,
2.96746825e+12, 1.31887439e+12, 7.21816762e+11, 3.20807355e+11,
1.42581005e+11],
[3.58627000e+06, 4.02950000e+04, 4.02951000e+05, 1.28613325e+13,
1.44508750e+11, 1.44509108e+12, 1.62368702e+09, 1.62369105e+10,
1.62369508e+11],
[3.01049100e+06, 2.61782000e+05, 1.09075800e+06, 9.06305606e+12,
7.88092355e+11, 3.28371714e+12, 6.85298155e+10, 2.85540811e+11,
1.18975301e+12],
[4.93544700e+06, 5.60846000e+05, 1.12169000e+05, 2.43586371e+13,
2.76802571e+12, 5.53604155e+11, 3.14548236e+11, 6.29095350e+10,
1.25818846e+10]]
```

```
polynomial_converter.transform(X).shape
(14, 9)
```

```
X.shape
(14, 3)
```

Рисунок 3 – Расширение пространства признаков

Проведённый анализ показал, что расширенное пространство признаков содержит три исходных признака, три признака взаимодействия и три квадратичных признака (рисунок 4). Благодаря этому модель учитывает влияние отдельных рекламных каналов, а также их совместное воздействие.

```
X.iloc[0]
TV      808076
radio   1190848
internet 2254106
Name: 0, dtype: int64

poly_features[0]
array([8.08076000e+05, 1.19084800e+06, 2.25410600e+06, 6.52986822e+11,
       9.62295688e+11, 1.82148896e+12, 1.41811896e+12, 2.68429762e+12,
       5.08099386e+12])
```

Рисунок 4 – Структура расширенного пространства полиномиальных признаков

На этом этапе проводились дополнительные проверки размерности данных и просмотр отдельных строк таблицы. Эти операции выполнялись для контроля корректности подготовки данных и не выделялись как отдельные этапы методики.

### 3. Обучение полиномиальной регрессионной модели и оценка ее качества

После формирования полиномиальных признаков данные были разделены

на обучающую и тестовую выборки (рисунок 5). Принципиальным отличием от линейной регрессии является то, что разбиение выполнялось не по исходной матрице признаков, а по расширенному полиномиальному пространству.

```
from sklearn.model_selection import train_test_split  
  
poly_features.shape  
  
(14, 9)
```

Рисунок 5 – Разбиение расширенного набора данных на обучающую и тестовую выборки

В процедуре разбиения данных в качестве входных переменных использовалась матрица полиномиальных признаков, содержащая девять компонент. Целевая переменная при этом оставалась неизменной. В качестве базовой модели использовалась линейная регрессия, обучаемая на расширенном пространстве признаков и обучение модели осуществлялось на обучающей выборке, содержащей девять признаков (рисунок 6). После обучения модель тестировалась на отдельной выборке. Это позволило оценить её качество.

Такой подход сохраняет простоту оптимизации и анализа коэффициентов. При этом модель учитывает возможные нелинейные зависимости между факторами (Hastie, 2009; Wooldridge, 2016).

```
from sklearn.linear_model import LinearRegression  
  
model = LinearRegression(fit_intercept=True)  
  
model.fit(X_train,y_train)  
  
LinearRegression()
```

Рисунок 6 – Обучение моделей линейной и полиномиальной регрессии

Результаты прогнозирования для тестовой выборки показаны на рисунке 7.

```
model.coef_  
  
array([-6.75239492e+00, -5.29279572e-01, -4.63774348e+00,  8.63512296e-07,  
       1.94701632e-07,  2.33173472e-06, -3.20233184e-06,  6.01009820e-06,  
       -2.16211015e-06])
```

Рисунок 7 – Прогноз объёма продаж для тестовой выборки

Качество модели оценивалось с использованием стандартных метрик регрессии. В расчётах применялись средняя абсолютная ошибка и среднеквадратическое отклонение. Эти показатели измеряются в тех же единицах, что и целевая переменная. Благодаря этому результаты модели можно легко интерпретировать (рисунок 8).

```

from sklearn.metrics import mean_absolute_error, mean_squared_error

MAE = mean_absolute_error(y_test, test_predictions)
MSE = mean_squared_error(y_test, test_predictions)
RMSE = np.sqrt(MSE)

MAE
1121894.181535951

MSE
1900820552145.109

RMSE
1378702.4886265742

```

Рисунок 8 – Оценка качества модели по метрикам регрессионного анализа

Значения ошибок показывают, что полиномиальная регрессия обеспечивает более точное прогнозирование по сравнению с линейной моделью. Анализ коэффициентов показывает, что первые параметры связаны с исходными признаками. Остальные отражают влияние взаимодействия факторов и возможные нелинейные эффекты (Breiman, 2001; Smagulov, 2022).

#### 4. Выбор оптимальной степени полинома и анализ переобучения

Для определения оптимальной сложности модели была проведена серия экспериментов с различными степенями полинома. Основной целью данного этапа являлось выявление точки, в которой дальнейшее увеличение степени приводит к росту ошибки на тестовой выборке, что свидетельствует о переобучении.

В ходе эксперимента для каждой степени полинома формировалось соответствующее пространство признаков, выполнялось разбиение данных на обучающую и тестовую выборки, обучалась модель и вычислялись значения метрик для обеих выборок.

Результаты эксперимента представлены в виде графика зависимости среднеквадратической ошибки от степени полинома для обучающей и тестовой выборок (рисунки 9, 10).

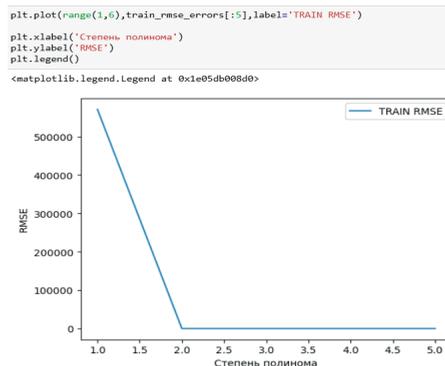


Рисунок 9 – Зависимость среднеквадратической ошибки от степени полинома (обучающая выборка)

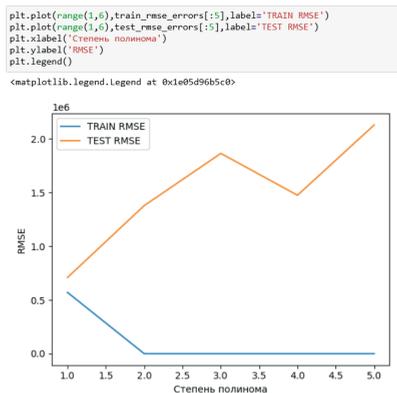


Рисунок 10 – Зависимость среднеквадратической ошибки от степени полинома (тестовая выборка)

На графиках видно, что с увеличением степени полинома ошибка на обучающей выборке уменьшается. При этом на тестовой выборке после определённого значения она начинает расти. Это свидетельствует о переобучении модели. Полученные результаты показывают, что оптимальной для данной задачи является полиномиальная модель второго или третьего порядка. Такой выбор обеспечивает баланс между точностью прогнозирования и устойчивостью модели. Использование более высоких степеней полинома в данном случае нецелесообразно. Это приводит к избыточному усложнению модели и снижает её способность корректно работать с новыми данными.

##### 5. Финализация и внедрение модели

После выбора оптимальной степени полинома была сформирована финальная версия модели. Она предназначена для практического применения. Для её построения использовался новый объект полиномиального преобразования с выбранной степенью полинома (рисунок 11). После определения параметров модель обучалась на полном наборе данных. Разделение данных на обучающую и тестовую выборки на этом этапе не выполнялось. Далее модель применялась для прогнозирования объёма продаж кирпичной продукции при заданных значениях рекламных затрат.

Прогноз объёма продаж до марта 2026 года рассчитывался на основе бюджета по каждому рекламному каналу.

```
final_poly_converter = PolynomialFeatures(degree=3,include_bias=False)
```

```
final_model = LinearRegression()
```

```
final_model.predict(campaign_poly)
```

```
array([ 26441302.26292749])
```

Рисунок 11 – Модель прогноза объёма продаж кирпичной продукции

Полученные результаты позволяют оценить ожидаемый объём реализации продукции и могут быть использованы при планировании маркетинговой стратегии предприятия.

**Результаты.** В исследовании разработана и проверена полиномиальная регрессионная модель для прогнозирования объёмов продаж кирпичной продукции промышленного предприятия. При её построении учитывались рекламные факторы. Модель строилась в расширенном пространстве признаков. Это дало возможность учитывать нелинейные эффекты рекламных каналов и их совместное влияние.

Эмпирическая выборка состояла из 14 наблюдений. Такой объём данных отражает реальные условия, в которых предприятия нередко располагают ограниченной информацией. Несмотря на небольшое количество наблюдений, данные представляют практический интерес. Они основаны на фактических показателях рекламной активности и объёмах реализации продукции. После применения полиномиального преобразования второго порядка размерность пространства признаков увеличилась с трёх до девяти при сохранении неизменного числа наблюдений. В расширенное пространство вошли исходные рекламные факторы, квадратичные компоненты, а также попарные члены взаимодействия, что позволило учесть как индивидуальное, так и совместное воздействие рекламных каналов на объём продаж. Полученная структура признаков пространства обеспечила более гибкое описание зависимости между входными параметрами и результирующим показателем по сравнению с классической линейной моделью.

Модель обучалась с разделением исходных данных на обучающую и тестовую выборки. Для оценки эффективности предложенного подхода выполнялось сравнение линейной и полиномиальной регрессионных моделей. Сравнение проводилось по показателям качества прогнозирования. В качестве критериев качества использовались средняя абсолютная ошибка (MAE) и среднеквадратическое отклонение (RMSE), что соответствует общепринятой практике регрессионного анализа. Оценка модели показала, что полиномиальная регрессионная модель обеспечивает более низкие ошибки прогнозирования по сравнению с линейной регрессией. На тестовой выборке значения метрик составили: MAE  $\approx 1121894$  и RMSE  $\approx 1378702$ . Полученные показатели указывают на достаточно точное описание зависимости между рекламными затратами и объёмом продаж. Снижение ошибки подтверждает, что учёт нелинейных эффектов и взаимодействия факторов повышает точность прогнозирования.

Анализ коэффициентов полиномиальной модели показал, что вклад членов взаимодействия рекламных каналов в ряде случаев сопоставим с вкладом исходных признаков (Armstrong, 2017; Makridakis, 2018). Это свидетельствует о синергетическом эффекте рекламных воздействий. При совместном использовании нескольких каналов их влияние на объём продаж оказывается больше, чем сумма отдельных эффектов (Baescke, 2013;

Smagulov, 2022). Данный результат экспериментально подтверждает гипотезу о нелинейном характере влияния рекламных факторов, сформулированную на этапе постановки задачи. Для выбора подходящей сложности модели проводились вычислительные эксперименты. Рассматривались различные степени полинома. Анализ показал, что с увеличением степени полинома ошибка на обучающей выборке уменьшается. При этом на тестовой выборке после определённого значения она начинает расти.

Это свидетельствует о переобучении модели при чрезмерном усложнении признакового пространства. Анализ показал, что для данной задачи оптимальной является степень полинома второго или третьего порядка. Такой выбор обеспечивает баланс между точностью аппроксимации и устойчивостью модели. На завершающем этапе исследования модель (рисунок 11) обучалась на всём доступном наборе данных. Далее она использовалась для прогнозирования объёма продаж кирпичной продукции при заданных значениях рекламных затрат.

Результаты расчёта прогнозных значений объёма реализации продукции для планируемого периода до марта 2026 года представлены в таблице 1.

Таблица 1. Прогнозные значения продажи кирпичной продукции по март 2026 года (ТОО «БАТСУ»)

№ п/п	Статьи расходов и продаж продукции	ед. изм.	Сентябрь, 2025	Октябрь, 2025	Ноябрь, 2025	Декабрь, 2025	Январь, 2026	Февраль, 2026	Март, 2026
1	Расходы отдела продаж на рекламу	тг.	5 932 927	5 729 623	4 719 988	4 029 517	4 363 030	5 608 463	26 441 302
2	Кирпич (полупорка)	шт.	3 941 784	3 326 400	1 829 520	1 542 240	2 576 996	3 352 480	7 108 462

Анализ данных, приведённых в таблице 1, показывает, что прогнозируемый объём продаж демонстрирует устойчивую зависимость от величины рекламных затрат. Увеличение рекламных расходов сопровождается ростом прогнозируемого объёма реализации продукции. При этом зависимость между затратами на рекламу и объёмом продаж имеет нелинейный характер. Это подтверждает целесообразность применения полиномиальной регрессионной модели. Такой подход позволяет учитывать изменение эффективности рекламных вложений.

Полученные прогнозные оценки могут применяться при предварительной оценке результатов рекламных кампаний. Они также помогают более обоснованно распределять рекламный бюджет и принимать управленческие решения при планировании продаж. Таким образом, результаты исследования демонстрируют не только теоретическую обоснованность предложенного

подхода, но и его практическую применимость в условиях реального промышленного предприятия.

**Обсуждение.** Полученные результаты согласуются с выводами исследований, посвящённых применению регрессионных и машинно-обучающих моделей в задачах прогнозирования спроса и продаж промышленной продукции. В работах многих авторов показано, что линейные модели, несмотря на простоту и интерпретируемость, часто не позволяют адекватно учитывать нелинейный характер влияния факторов и их совместное воздействие (Breiman, 2001; Hastie, 2009).

Результаты настоящего исследования подтверждают данное положение применительно к задаче прогнозирования продаж кирпичной продукции. Линейная регрессионная модель, построенная на исходных признаках, может давать ограниченную точность прогнозирования. Это связано с тем, что она предполагает независимое и аддитивное влияние рекламных каналов. Добавление полиномиальных признаков позволяет учитывать взаимодействие факторов. В результате зависимость между рекламными затратами и объёмом продаж описывается точнее (Vapnik, 1998; Kuhn, 2013). По сравнению с более сложными алгоритмами машинного обучения, например нейронными сетями или методов ансамблей, полиномиальная регрессия остаётся более прозрачной для интерпретации. Это делает её удобной для применения в инженерных и производственных задачах.

Возможность сопоставления отдельных коэффициентов с конкретными рекламными факторами и их комбинациями облегчает анализ результатов и повышает доверие к модели со стороны специалистов предприятия. Результаты исследования согласуются с работами, в которых отмечается эффективность моделей с расширенным пространством признаков при небольшом объёме данных. При работе с малыми выборками использование слишком сложных нелинейных алгоритмов может приводить к переобучению. В результате устойчивость прогнозов может снижаться (Hyndman, 2021; Makridakis, 2018). В таких условиях полиномиальная регрессия второго или третьего порядка представляет собой разумный компромисс. Она позволяет сохранить баланс между сложностью модели и её способностью обобщать результаты.

К основным преимуществам проведённого исследования относятся следующие положения:

1. формализация задачи прогнозирования на основе регрессионной модели и расширенного пространства признаков;
2. выбор степени полинома с учётом анализа переобучения модели;
3. сохранение интерпретируемости модели при повышении точности прогнозирования;
4. ориентация разработанной модели на практическое применение в условиях промышленного предприятия.

Вместе с тем проведённое исследование имеет ряд ограничений. Прежде

всего модель построена на основе небольшого объёма данных. Это может ограничивать применение модели для других временных периодов. Кроме того, в модель не включались сезонные, макроэкономические и отраслевые факторы. Такие факторы также способны влиять на объёмы продаж.

В работе не проводилось сравнение с более сложными алгоритмами машинного обучения. Поэтому данное направление можно рассматривать как перспективу дальнейших исследований. Поэтому данное направление может рассматриваться как перспектива дальнейших исследований.

**Заключение.** В данном исследовании была решена задача прогнозирования объёмов продаж кирпичной продукции с учётом рекламных факторов. Для этого нами применялись методы машинного обучения. Разработана и экспериментально апробирована полиномиальная регрессионная модель, позволяющая учитывать нелинейный характер влияния рекламных каналов и их взаимодействие. Показано, что расширение пространства признаков обеспечивает повышение точности прогнозирования по сравнению с классической линейной регрессией при сохранении устойчивости модели и интерпретируемости полученных параметров. Анализ показал, что рекламные каналы оказывают совместное влияние на объём продаж. Количественно этот эффект учитывается за счёт включения в модель членов взаимодействия.

Изучение зависимости ошибок прогнозирования от степени полинома позволило определить подходящую сложность модели. В результате был найден вариант, обеспечивающий баланс между точностью аппроксимации и риском переобучения при ограниченном объёме исходных данных. Разработанная модель может использоваться при планировании рекламных кампаний и прогнозировании объёмов реализации продукции на кирпичных предприятиях. Она также может быть включена в информационно-аналитические системы предприятия. Это позволяет применять её при принятии решений, связанных с распределением рекламного бюджета.

В дальнейшем представляется целесообразным расширить исходную выборку. Это можно сделать за счёт включения данных за более длительные временные периоды и дополнительных производственно-экономических факторов. Такой шаг позволит повысить обобщающую способность модели и более полно оценить её устойчивость. Отдельным направлением дальнейших исследований может стать адаптация предложенного подхода для многопараметрических моделей. Такие модели способны учитывать сезонные колебания спроса и региональные особенности строительного рынка. Кроме того, представляет интерес сравнение полученных результатов с ансамблевыми и гибридными методами машинного обучения. Полученные результаты подтверждают эффективность применения полиномиальной регрессионной модели для анализа влияния рекламных факторов на объёмы продаж кирпичной продукции.

### References

- Armstrong J.S., Green K.C. (2017) Demand forecasting evidence-based methods. *International Journal of Forecasting*, — № 33. — P. 912–930. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2017.03.010> (in English)
- Baecke P., Van den Poel D. (2013) The value of advertising in demand forecasting. *International Journal of Forecasting*. — № 29. — P. 593–606. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2012.11.002> (in English)
- Breiman L. (2001) Statistical modeling: The two cultures. *Statistical Science*. — №16. — P.199–231. DOI: <https://doi.org/10.1214/ss/1009213726> (in English)
- Chen T., Guestrin C. (2016) XGBoost: A scalable tree boosting system. *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD Conference, San Francisco*. — P. 785–794. DOI: <https://doi.org/10.1145/2939672.2939785>. (in English)
- Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. (2009) *The elements of statistical learning*. Springer, New York — №4. — P.22–28 (in English)
- Montgomery D.C., Jennings C.L., Kulahci M. (2015) *Introduction to time series analysis and forecasting*. Wiley, Hoboken. — №41. — P.32–38 (in English)
- Pedregosa F., Varoquaux G., Gramfort A. et al. (2011) Scikit-learn: Machine learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, — №12. — P. 2825–2830 (in English)
- Vapnik V.N. (1998) *Statistical learning theory*. Wiley, New York. — №2. — P. 25–36 (in English)
- Wooldridge J.M. (2016) *Introductory econometrics: A modern approach*. Cengage Learning, Boston. — №3. — P. 825–830. (in English)
- Box G.E.P., Jenkins G.M., Reinsel G.C., Ljung G.M. (2015) *Time series analysis: Forecasting and control*. Wiley, Hoboken. — №7. — P. 163–174. (in English)
- Hyndman R.J., Athanasopoulos G. (2021) *Forecasting: Principles and practice*. OTexts, Melbourne. — №141. — P. 3625–2636. (in English)
- Kuhn M., Johnson K. (2013) *Applied predictive modeling*. Springer, New York. — №12. — P. 2825–2830. (in English)
- Ahmetov B.S., Suleimenov M.K. (2020) Analiz i prognozirovanie sprosa na stroitelnye materialy. *Vestnik KazNITU*. — № 5. — P. 45–52. (in English)
- Ivanov V.A., Petrov A.N. (2019) Matematicheskoe modelirovanie ekonomicheskikh prosesov [Mathematical modeling of economic processes]. *Economics and mathematical methods*. — Vol 55. — № 3. — P. 98–109. (in Russian)
- Kenjebaev S.T., Abdrahmanov E.N. (2021) Primenenie regresionnykh modelei v upravlenii promyshlennym predpriatiem. *İzvestia NAN RK. Seria geologii i tehnikeskikh nauk* [The use of regression models in the management of an industrial enterpris]. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*. — № 2. — P.112–120. (in Russian)
- Kuznesov A.V. (2018) *Metody prognozirovania v proizvodstvennykh sistemah* [Forecasting methods in production systems.]. Moscow: Mashinostroenie. — P.256. (in Russian)
- Smagulov N.K., Tuleubaev J.S. (2022) Analiz reklamnykh faktorov v upravlenii prodajami [Analysis of advertising factors in sales management.]. *Economics and statistics*. — № 4. — P. 61–69. (in Russian)

## **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](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.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:

**[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)**

**<http://physics-mathematics.kz/index.php/en/archive>**

**ISSN2518-1726 (Online),**

**ISSN 1991-346X (Print)**

Ответственный редактор *А. Ботанқызы*

Редакторы: *Д.С. Аленов, Т. Апендиев*

Верстка на компьютере: *Г.Д. Жадырановой*

Подписано в печать 31.03.2026.

Формат 60x881/8.

20,0 п.л. Заказ 1.