

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



«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

РОО «НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН»

N E W S

OF THE NATIONAL ACADEMY
OF SCIENCES OF THE REPUBLIC
OF KAZAKHSTAN

SERIES OF PHYSICS AND MATHEMATICS

1 (353)

JANUARY – MARCH 2025

PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

PUBLISHED 4 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK

БАС РЕДАКТОР:

МҮТАНОВ Ғалымқайыр Мұтанұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының м.а. (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506682964>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1423665>

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ:

ҚАЛИМОЛДАЕВ Максат 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>

БАЙГҮНЧЕКОВ Жұмаділ Жанабайұлы, 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>

БИЯШЕВ Рустам Гакашевич, техника ғылымдарының докторы, профессор, Информатика және басқару мәселелері институты директорының орынбасары, Ақпараттық қауіпсіздік зертханасының меңгерушісі (Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603642864>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802016>

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>

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Физика-математика сериясы».

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Меншіктеуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (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 **28.02.2025** ж. берген №**KZ20VPY00113741** Куәлік.

Тақырыптық бағыты: *ақпараттық-коммуникациялық технологиялар*

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

Мерзімділігі: *жылына 4 рет.*

Редакцияның мекен-жайы: *050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., тел.: 272-13-19*

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

© «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ, 2025

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

МУТАНОВ Галимканр Мутанович, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, и.о. генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/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/authid/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/authid/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 Саппаева (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/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/authid/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/authid/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/authid/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/authid/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/authid/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/authid/detail.uri?authorId=55453992600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802041>

БИЯШЕВ Рустам Гакашевич, доктор технических наук, профессор, заместитель директора Института проблем информатики и управления, заведующий лабораторией информационной безопасности (Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603642864>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802016>

КАПАЛОВА Нурсулу Алдажаровна, кандидат технических наук, заведующий лабораторией кибербезопасности РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/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/authid/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/authid/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/authid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

«Известия НАН РК. Серия физико-математическая».

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Собственник: *Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы).*

Свидетельство о постановке на переучет периодического печатного издания, информационного агентства и сетевого издания № **KZ20VPU00113741**. Дата выдачи **28.02.2025**

Тематическая направленность: *информационно-коммуникационные технологии.*

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

Периодичность: *4 раза в год.*

Адрес редакции: *050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, оф. 219, тел.: 272-13-19*
<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

© РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан», 2025

CHIEF EDITOR:

MUTANOV Galimkair Mutanovich, doctor of technical sciences, professor, academician of NAS RK, acting General Director of the Institute of Information and Computing Technologies CS MES 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>

Mamyrbayev 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>

BIYASHEV Rustam Gakashevich, doctor of technical sciences, professor, Deputy Director of the Institute for Informatics and Management Problems, Head of the Information Security Laboratory (Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603642864>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802016>

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>

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

Series of Physics and Mathematics

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Owner: RPA «National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan» (Almaty).

Certificate No. **KZ20VPY00113741** on the re-registration of the periodical printed and online publication of the information agency, issued on **28.02.2025** 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.*

Editorial address: *28, Shevchenko str., of 219, Almaty, 050010, tel. 272-13-19*

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

**K. Momynzhanova^{1,3*}, S. Pavlov², Sh. Zhumagulova^{1,3},
M.T. Tungushbaev⁴, 2025.**

¹Institute of Information and Computational Technologies, Almaty, Kazakhstan;

²Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, Ukraine;

³ Faculty of Information Technology, Kazakh National University named
after Al-Farabi, Almaty, Kazakhstan;

⁴Lyceum №161 named after ZH. Zhabayev, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: kymbat010809@gmail.com

MATHEMATICAL MODELS AND PRACTICAL IMPLEMENTATION OF AN OPTICAL-ELECTRONIC EXPERT SYSTEM FOR GLAUCOMA DETECTION

Kymbat Momynzhanova – postgraduated student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, E-mail: kymbat010809@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9981-5706>;

Sergii Pavlov- Doctor of technical sciences, professor, Vinnitsia National technical university E-mail: psv@vntu.edu.ua, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0051-5560>;

Sholpan Zhumagulova – postgraduated student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, E-mail: sh.zhumagulovakz@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-3696-0021>;

Mukhit Tungushbayev - computer science teacher, Lyceum №161 named after Zh. Zhabayev, Almaty, Kazakhstan, E-mail: mtungushbayev@bk.ru .

Abstract. When experts compile a reference set of fundus images, disagreements may arise due to image ambiguity. Experience shows that even a single expert can evaluate whether the same image indicates glaucoma differently at various times (e.g., a week or a month apart). Understandably, the opinions of different specialists often diverge. Therefore, when building the knowledge base for an expert system, it is necessary to include procedures that assess the consistency and reproducibility of compiling such a reference set.

This paper proposes an approach to automated glaucoma diagnosis based on an optical-electronic expert system that combines biomedical image processing methods with elements of fuzzy logic. The proposed methodology enables prompt analysis of data obtained during fundus examinations, thereby improving both the accuracy of pathology detection and the efficiency of clinical decision-making.

The study justifies the main mathematical models and algorithms, describes the structure of the hardware-software complex, and presents the results of assessing its diagnostic accuracy on a sample of patients. It was found that utilizing fuzzy classification rules allows for an accuracy exceeding 97% when diagnosing glaucoma at various stages.

During automated analysis of fundus images, the first step is to eliminate various distorting factors, including noise, interference, and uneven illumination. Next, in the description stage, the key characteristics of the object are computed on this basis, the image is categorized accordingly. The crucial step in this process is the proper extraction and assessment of features, as the final recognition outcome directly depends on their selection and informativeness. Furthermore, two main groups of factors affect the overall results: those related to the properties of the object itself (fundus images can vary substantially) and those stemming from the conditions under which the images are captured (sensor noise, non-uniform lighting, and other artifacts).

Keywords: glaucoma, optical-electronic system, biomedical images, fuzzy logic, expert system, diagnostics, ophthalmology.

**К.Р. Момынжанова^{1,3*}, С.В. Павлов², Ш.П. Жұмағұлова^{1,3},
М.Т. Тұңғышбаев⁴, 2025.**

¹Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы, Қазақстан;

²Винниця Ұлттық техникалық университеті, Винниця, Украина;

³ Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;

⁴Ж. Жабаев атындағы №161 лицей, Алматы, Қазақстан.

E-mail: kymbat010809@gmail.com

ГЛАУКОМАНЫ АНЫҚТАУҒА АРНАЛҒАН ОПТИКАЛЫҚ- ЭЛЕКТРОНДЫҚ САРАПТАМАЛЫҚ ЖҮЙЕНІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕРІ МЕН ПРАКТИКАЛЫҚ ІСКЕ АСЫРЫЛУЫ

Момынжанова Кымбат Рағытовна – докторант, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан, E-mail: kymbat010809@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9981-5706>;

Павлов Сергей Владимирович – т.ғ.д. профессор, Винниця Ұлттық техникалық университеті, E-mail: psv@vntu.edu.ua, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0051-5560>;

Жұмағұлова Шолпан Пернебайқызы – докторант, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан, E-mail: sh.zhumagulovakz@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-3696-0021>;

Тұңғышбаев Мұхит Тұрсынұлы - Информатика пәнінің мұғалімі, Ж. Жабаев атындағы №161 лицей, Алматы, Қазақстан, E-mail: mtungushbayev@bk.ru.

Аннотация. Көз түбі кескіндерінің эталондық іріктемесін сарапшылар қалыптастырған кезде, бейнелердің екі ұштылығына байланысты келіспеушілік жағдайлары туындау мүмкін. Тәжірибе көрсеткендей, тіпті бір ғана сарапшы әртүрлі уақытта (апта не ай өткен соң) бір кескіннің глаукомаға

тиесілі екенін түрліше бағалауы ықтимал. Әрине, әртүрлі мамандардың да көзқарастары жиі сәйкес келмей жатады. Осы себепті сараптамалық жүйенің білім қорын жасаған кезде эталондық іріктемені құрастыру нәтижелерінің сәйкестік пен қайталанымдылығын бағалау рәсімдерін алдын ала қарастыру қажет.

Бұл жұмыста биомедициналық кескіндерді өңдеу әдістері мен тұманды логика элементтерін ұштастыратын оптикалық-электрондық сараптамалық жүйе негізінде глаукоманы автоматты диагностикалаудың бір тәсілі ұсынылады. Ұсынылған әдістеме көз түбін зерттеу кезінде алынатын деректерді шұғыл талдауға мүмкіндік беріп, патологияны анықтау дәлдігін және клиникалық шешім қабылдау тиімділігін арттырады. Зерттеу барысында негізгі математикалық модельдер мен алгоритмдер дәйектеліп, бағдарламалық-аппараттық кешеннің құрылымы сипатталады, сондай-ақ пациенттер іріктемесінде әдістеменің дәлдігін бағалау нәтижелері келтіріледі. Түрлі сатыдағы глаукоманы диагностикалауда тұманды жіктеу ережелерін пайдалану 97%-дан жоғары дәлдікке қол жеткізуге мүмкіндік беретіні анықталды.

Көз түбі бейнелерін автоматтандырылған түрде талдау барысында алдымен әртүрлі бұрмалаушы әсерлер (шулар, кедергілер мен жарықтандырудағы біркелкі еместік) жойылады. Содан кейін сипаттау кезеңінде объектінің қажетті сипаттамалары есептеліп, оларды талдау негізінде бейне сәйкес санатқа жатқызылады. Мұнда ең маңызды қадам – белгілерді дұрыс бөліп алу және бағалау, өйткені танудың түпкілікті нәтижесі сол белгілердің таңдалуына және олардың ақпараттық құндылығына тікелей тәуелді. Бұған қоса, қорытындыға екі негізгі топ әсер етеді: біріншісі – объектінің өзіндік ерекшеліктері (көз түбі кескіндері бір-бірінен едәуір өзгеше болуы мүмкін), ал екіншісі – кескін алу жағдайлары (датчиктің шуы, жарықтандырудың біркелкі болмауы және басқа да артефактілер).

Түйін сөздер: глаукома, оптикалық-электрондық жүйе, биомедициналық кескіндер, тұманды логика, сараптамалық жүйе, диагностика, офтальмология.

**К.Р. Момынжанова^{1,3*}, С.В. Павлов², Ш.П. Жумагулова^{1,3},
М.Т. Тунгушбаев⁴, 2025.**

¹Институт информационных и вычислительных технологий,
Алматы, Казахстан;

²Винницкий Национальный технический университет, Винница, Украина;

³ Казахский Национальный университет имени аль-Фараби,
Алматы, Казахстан;

⁴Лицей №161 им. Ж. Жабаева, Алматы, Казахстан.
E-mail: kymbat010809@gmail.com

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ
ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ
ВЫЯВЛЕНИЯ ГЛАУКОМЫ**

Момынжанова Кымбат Рагытовна – докторант, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, E-mail: kymbat010809@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9981-5706>;

Павлов Сергей Владимирович – д.т.н., профессор, Винницкий Национальный технический университет, E-mail: psv@vntu.edu.ua, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0051-5560>;

Жумагулова Шолпан Пернебаевна – докторант, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, E-mail: sh.zhumagulovakz@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-3696-0021>;

Тунгушбаев Мухит Турсунович - учитель информатики, Лицей №161 им. Ж. Жабасева, Алматы, Казахстан, E-mail: mtungushbayev@bk.ru.

Аннотация. При формировании экспертами эталонной выборки изображений глазного дна могут возникать противоречивые моменты ввиду неоднозначности изображений. Практика показала, что даже один эксперт в разное время (через неделю, месяц) может по-разному оценивать принадлежность одного и того же изображения к болезни глаукомы или нет. Естественно, что и у разных экспертов часто возникают разные мнения по поводу отнесения изображений глазного дна к глаукоме. Поэтому при формировании базы знаний экспертной системы необходимо предусмотреть процедуры оценки сходимости и воспроизводимости результатов создания эталонной выборки.

В работе предлагается подход к автоматизированной диагностике глаукомы на основе оптически-электронной экспертной системы, совмещающей методы обработки биомедицинских изображений и элементы нечеткой логики. Предложенная методика позволяет оперативно анализировать данные, получаемые при обследовании глазного дна, повышая точность выявления патологии и эффективность принятия клинических решений. В исследовании обосновываются ключевые математические модели и алгоритмы, описывается структура программно-аппаратного комплекса и приводятся результаты оценки точности методики на выборке пациентов. Показано, что использование нечетких правил классификации позволяет достичь точности более 97% при диагностике глаукомы различных стадий.

В процессе автоматизации анализа изображений глазного дна сначала устраняют всевозможные искажающие факторы: от шумов и помех до неровностей освещения. Затем на этапе описания рассчитываются определенные характеристики объекта, на основании которых впоследствии происходит его отнесение к одной из категорий. Важнейшим этапом здесь является именно выделение и оценка признаков, так как качество конечного распознавания напрямую зависит от их правильного выбора и информативности. При этом на итоговый результат влияют две основные группы факторов: во-первых, свойства самого объекта (изображения глазного дна могут существенно отличаться друг от друга), а во-вторых, условия получения снимков (шумы сенсора, неоднородность освещения и прочие артефакты).

Ключевые слова: глаукома, оптически-электронная система, биомеди-

цинские изображения, нечеткая логика, экспертная система, диагностика, офтальмология.

Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (No AP19675574).

Введение. Введение в задачу диагностики глаукомы имеет особую актуальность, поскольку эта патология является одной из ведущих причин слепоты и заметного снижения зрения во всём мире. Своевременное обнаружение и оценка прогрессирования заболевания требуют высокой точности диагностики, особенно при анализе изменений в структурах глазного дна. Традиционно постановка диагноза основывается на клиническом осмотре, измерении внутриглазного давления, оценке поля зрения и других офтальмологических тестах. Однако субъективный фактор, а также высокие временные затраты могут снижать эффективность и надёжность таких методов (Ali, et al., 2007).

В последнее время стремительно развивается направление автоматизированного анализа биомедицинских изображений, что открывает возможности для систем помощи врачу-офтальмологу. Сочетание оптического и электронного модулей сбора данных позволяет получать высококачественные изображения сетчатки в различных условиях, а методы компьютерной обработки — в автоматическом режиме обрабатывать и анализировать полученные данные. При этом ключевым моментом становится правильная интеграция экспертного знания и алгоритмов машинной обработки, обеспечивающая точное распознавание признаков, характерных для глаукомы.

В рамках данной работы ставится цель разработать концептуальную модель оптико-электронной экспертной системы для диагностики глаукомы с использованием методов компьютерной обработки, а также изучить факторы, влияющие на корректность распознавания снимков глазного дна. Такой подход позволит систематизировать алгоритмы сбора, предобработки и анализа данных, учитывая как особенности самого объекта исследования (глазное дно), так и внешние условия формирования снимков (шумы датчика, неоднородность освещения и др.).

Обзор предметной области и актуальные исследования. В своей обзорной статье (Song, et al., 2021) рассмотрели различные исследования, посвященные применению глубокого обучения для диагностики глаукомы. Данные исследователи описали преимущества и ограничения использования методов машинного обучения для диагностики глаукомы, а также обозначили перспективы дальнейших исследований в данной области.

В работе (Bolme, et al., 2021) также провели систематический обзор исследований, посвященных применению глубокого обучения для диагностики глаукомы. В работе авторы отметили, что большинство исследований показы-

вают высокую точность и чувствительность методов машинного обучения при диагностике глаукомы, но при этом отметили необходимость проведения дополнительных исследований в данной области. В исследовании (Yaqoob, et al., 2020) провели обзор литературы по применению искусственного интеллекта в офтальмологии в целом, включая и диагностику глаукомы. Авторы подчеркнули, что использование методов машинного обучения в офтальмологии может улучшить точность диагностики и облегчить работу врачей, но также отметили необходимость проведения большого количества исследований, чтобы определить эффективность и перспективы применения этих методов.

В работе (Medeiros, et al., 2021) рассмотрели перспективы и ограничения применения искусственного интеллекта в диагностике глаукомы. Было выявлено, что существуют различные подходы к применению методов машинного обучения в диагностике глаукомы, но отметили, что необходимо проводить больше исследований, чтобы понять, каким образом эти методы могут быть использованы в клинической практике.

В работе (Thakur, et al., 2021) провели систематический обзор исследований, посвященных применению методов машинного обучения для диагностики глаукомы. В работе авторы отметили, что методы машинного обучения могут быть эффективным инструментом для раннего выявления глаукомы и определения степени ее развития. Кроме того, они могут помочь в оценке эффективности лечения и прогнозировании результатов.

В статье (Christopher, et al., 2021) рассмотрели применение искусственного интеллекта в скрининге глаукомы. Авторы отметили, что методы машинного обучения, основанные на анализе зрительных полей и оптической кохеографии, могут помочь в ранней диагностике глаукомы и выявлении пациентов с высоким риском развития болезни.

В работе (Hu, et al., 2021) рассмотрели применение методов глубокого обучения для детектирования глаукомы на изображениях оптической когерентной томографии. На основе полученных результатов было обнаружено, что глубокое обучение может улучшить точность диагностики и помочь в обнаружении начальных стадий глаукомы.

В исследовании (Li, et al., 2020) провели систематический обзор и мета-анализ исследований, посвященных автоматизированной диагностике глаукомы с использованием методов глубокого обучения и фонуальной фотографии. Исследователи данной работы отметили, что методы глубокого обучения могут быть более эффективными, чем традиционные методы диагностики, в том числе в случаях с низкой квалификацией врачей.

В статье (Asaoka, et al., 2020) обсудили применение различных методов машинного обучения, включая глубокое обучение, для диагностики и управления глаукомой. Они отметили, что многие исследования показывают высокую точность и чувствительность методов машинного обучения в диагностике глаукомы. Однако авторы отметили необходимость

более широкого использования этих методов в клинической практике и необходимость дальнейшего совершенствования алгоритмов, чтобы улучшить их точность и надежность. В целом, авторы считают, что использование искусственного интеллекта может значительно улучшить диагностику и управление глаукомой и стать ценным инструментом для врачей и пациентов.

Методология и математические модели

Формирование базы знаний и ключевые признаки. В рамках разработанного подхода к распознаванию снимков глазного дна опорной точкой выступает опыт специалистов-офтальмологов, на базе которого формируется экспертная система для диагностики глаукомы. В её основе лежит эталонный набор цифровых изображений с соответствующими описаниями, сохраняемыми в базе знаний. Существенным элементом такой системы является аналитический модуль, включающий набор правил, по которым принимается решение (Rotshtein, 1998).

В ходе проведённых исследований были выделены ключевые факторы, непосредственно влияющие на корректность распознавания изображений. С учётом источника происхождения их можно подразделить на три основные группы (рис. 1).

В описываемой системе инструментальные факторы можно условно разделить на две группы. К первой относятся те, что возникают из-за физических процессов внутри применяемого оборудования: это, например, шум фотосенсора, цветовые искажения камеры, изменение яркости, дифракционные явления в оптической части, а также неоднородность спектральных характеристик источника света в офтальмоскопе или неравномерность освещения в пределах обзора камеры. Ко второй группе инструментальных факторов относятся внешние условия эксплуатации системы, способные влиять на результат измерений.

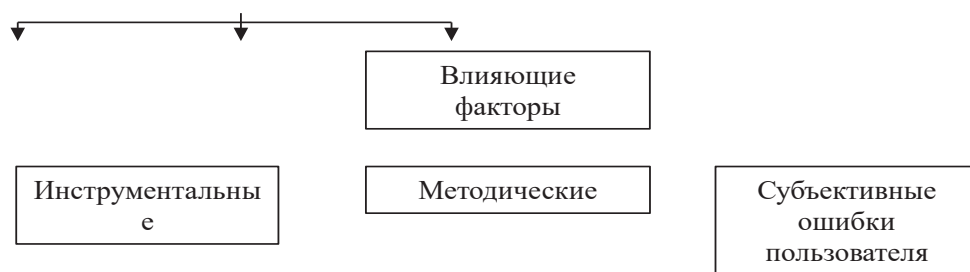


Рисунок 1 – Факторы, оказывающие наиболее существенное влияние на точность результатов измерений

Яркое внешнее освещение, на пример солнечные лучи, может снизить контрастность получаемого системой изображения. К той же группе внешних факторов относится и вибрация рабочей поверхности, вызывающая искажения при длительных выдержках (Mamyrbayev, et al., 2024b).

Методическими факторами выступают модель измерения и математические методы обработки, заложенные в программном обеспечении системы, а также процессы дискретизации и квантования, происходящие при переводе оптического сигнала в цифровой формат.

К факторам, зависящим от оператора, относятся все аспекты настройки офтальмоскопа (выбор объектива, положение конденсора, регулировка полевой и апертурной диафрагм, корректирующие фильтры для светового потока, положения фокуса и т.д.), а также выбор области исследования и точное позиционирование исследуемого участка в поле зрения камеры. Кроме того, существенную роль играет интерактивный режим обработки: параметры, задаваемые пользователем в ходе программной обработки изображения, могут существенно повлиять на итоговый результат.

В представленной работе предлагается концептуальная модель экспертной системы для диагностики глаукомы, позволяющая снизить неоднозначность при интерпретации изучаемых объектов. Рассмотрены основные факторы, влияющие на корректность распознавания сложных объектов (снимков глазного дна), в рамках экспертной системы, построенной на методах компьютерной офтальмоскопии (см. табл. 1).

Таблица 1 – Формирование экспертной базы при диагностировании глаукомы

Степени тяжести патологии	Внутриглазное давление, мм рт.ст.	Поле зрения	Отношение диаметра экскавации к диаметру ДЗН	Отношение площади экскавации к площади ДЗН	Отношение объема экскавации к объему ДЗН	Площадь экскавации	Объем экскавации	Площадь нейроретинального ремня	Объем нейроретинального ремня	Средняя толщина слоя нервных волокон по краю диска	Площадь поперечного сечения слоя нервных волокон по краю диска
d1 – норма	15-21	60 ⁰	0,009 – 0,635	0 – 0,42	0 – 1,1	0 – 0,95	0 – 0,295	1,097 – 2,14	0,165 – 0,7	0,13 – 0,4	0,603 – 2,03
d 2 – I стадия глаукомы	15-21	50 ⁰	0,55 – 0,8	0,3 – 0,62	0,2 – 2,6	0,55 – 1,77	0,04 – 0,52	0,79 – 2,04	0,12 – 0,53	0,06 – 0,34	0,26 – 1,26
d 3 – II стадия глаукомы	31	45 ⁰ – 35 ⁰	0,5 – 0,92	0,25 – 0,82	0,2 – 8	0,7 – 2,04	0,1 – 0,74	0,32 – 2,04	0,07 – 0,49	0,02 – 0,22	0,1 – 1,11
d 4 – III стадия глаукома	33	<35 ⁰	0,65 – 1,0	0,4 – 0,97	1,0 – 35	0,82 – 2,47	0,15 – 1,35	0,217 – 2,09	0,025 – 0,262	-0,12 – 0,26	-0,6 – 1,5

Для диагностики глаукомы в данной работе используется набор признаков, который определяется на основе изображений глазного дна, а также офтальмологических измерений (таблица признаков может включать внутриглазное давление, поле зрения, геометрические соотношения

оптического диска и экскавации, площадь и объём экскавации, параметры нейроретинального пояса и т.д.). Каждый признак X_1 - X_{11} может оцениваться в количественных диапазонах, соответствующих нормальному состоянию или той либо иной стадии глаукомы.

Рассчитаем степень тяжести патологии:

для d_1

$$\begin{aligned} \mu^{d_1}(x_1x_{11}) = & \mu^H(x_1) \cdot \mu^B(x_2) \cdot \mu^H(x_3) \cdot \mu^H(x_4) \cdot \mu^H(x_5) \cdot \mu^H(x_6) \cdot \mu^H(x_7) \cdot \\ & \mu^{BC}(x_8) \cdot \mu^{HC}(x_9) \cdot \mu^C(x_{10}) \cdot \mu^C(x_{11}) \vee \mu^{HC}(x_1) \cdot \mu^B(x_2) \cdot \mu^{HC}(x_3) \cdot \mu^{HC}(x_4) \cdot \mu^H(x_5) \cdot \mu^{HC}(x_6) \cdot \\ & \mu^{HC}(x_7) \cdot \mu^B(x_8) \cdot \mu^C(x_9) \cdot \mu^{BC}(x_{10}) \cdot \mu^{BC}(x_{11}) \vee \mu^{HC}(x_1) \cdot \mu^B(x_2) \cdot \mu^C(x_3) \cdot \mu^C(x_4) \cdot \mu^H(x_5) \cdot \\ & \mu^C(x_6) \cdot \mu^{HC}(x_7) \cdot \mu^B(x_8) \cdot \mu^{BC}(x_9) \cdot \mu^B(x_{10}) \cdot \mu^B(x_{11}) \vee \mu^{HC}(x_1) \cdot \mu^B(x_2) \cdot \mu^{BC}(x_3) \cdot \mu^C(x_4) \cdot \\ & \mu^H(x_5) \cdot \\ & \mu^C(x_6) \cdot \mu^{HC}(x_7) \cdot \mu^B(x_8) \cdot \mu^B(x_9) \cdot \mu^B(x_{10}) \cdot \mu^B(x_{11}) \end{aligned}$$

для d_2

$$\begin{aligned} \mu^{d_2}(x_1x_{11}) = & \mu^H(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^C(x_3) \cdot \mu^{HC}(x_4) \cdot \mu^H(x_5) \cdot \mu^{HC}(x_6) \cdot \mu^H(x_7) \cdot \\ & \mu^C(x_8) \cdot \mu^{HC}(x_9) \cdot \mu^{HC}(x_{10}) \cdot \mu^{HC}(x_{11}) \vee \mu^{HC}(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^{BC}(x_3) \cdot \mu^C(x_4) \cdot \mu^H(x_5) \cdot \mu^C(x_6) \cdot \\ & \mu^{HC}(x_7) \cdot \mu^{BC}(x_8) \cdot \mu^C(x_9) \cdot \mu^C(x_{10}) \cdot \mu^C(x_{11}) \vee \mu^{HC}(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^{BC}(x_3) \cdot \mu^{BC}(x_4) \cdot \mu^H(x_5) \cdot \\ & \mu^{BC}(x_6) \cdot \mu^C(x_7) \cdot \mu^B(x_8) \cdot \mu^{BC}(x_9) \cdot \mu^{BC}(x_{10}) \cdot \mu^{BC}(x_{11}) \vee \mu^{HC}(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^{BC}(x_3) \cdot \mu^{BC}(x_4) \cdot \\ & \mu^H(x_5) \cdot \\ & \mu^{BC}(x_6) \cdot \mu^C(x_7) \cdot \mu^B(x_8) \cdot \mu^{BC}(x_9) \cdot \mu^B(x_{10}) \cdot \mu^{BC}(x_{11}) \end{aligned}$$

для d_3

$$\begin{aligned} \mu^{d_3}(x_1x_{11}) = & \mu^B(x_1) \cdot \mu^H(x_2) \cdot \mu^C(x_3) \cdot \mu^{HC}(x_4) \cdot \mu^H(x_5) \cdot \mu^{HC}(x_6) \cdot \mu^H(x_7) \cdot \\ & \mu^H(x_8) \cdot \mu^{HC}(x_9) \cdot \mu^{HC}(x_{10}) \cdot \mu^{HC}(x_{11}) \vee \mu^B(x_1) \cdot \mu^{HC}(x_2) \cdot \mu^{BC}(x_3) \cdot \mu^C(x_4) \cdot \mu^{HC}(x_5) \cdot \mu^C(x_6) \cdot \\ & \mu^{HC}(x_7) \cdot \mu^{HC}(x_8) \cdot \mu^C(x_9) \cdot \mu^C(x_{10}) \cdot \mu^C(x_{11}) \vee \mu^B(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^B(x_3) \cdot \mu^{BC}(x_4) \cdot \mu^{HC}(x_5) \cdot \\ & \mu^{BC}(x_6) \cdot \mu^C(x_7) \cdot \mu^C(x_8) \cdot \mu^{BC}(x_9) \cdot \mu^{BC}(x_{10}) \cdot \mu^{BC}(x_{11}) \vee \mu^B(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^B(x_3) \cdot \mu^{BC}(x_4) \cdot \\ & \mu^{HC}(x_5) \cdot \\ & \mu^{BC}(x_6) \cdot \mu^{BC}(x_7) \cdot \mu^{BC}(x_8) \cdot \mu^{BC}(x_9) \cdot \mu^{BC}(x_{10}) \cdot \mu^{BC}(x_{11}) \vee \\ & \mu^B(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^B(x_3) \cdot \mu^{BC}(x_4) \cdot \mu^{HC}(x_5) \cdot \\ & \mu^{BC}(x_6) \cdot \mu^{BC}(x_7) \cdot \mu^B(x_8) \cdot \mu^{BC}(x_9) \cdot \mu^{BC}(x_{10}) \cdot \mu^{BC}(x_{11}) \end{aligned}$$

для d_4

$$\begin{aligned} \mu^{d_4}(x_1x_{11}) = & \mu^B(x_1) \cdot \mu^H(x_2) \cdot \mu^{BC}(x_3) \cdot \mu^C(x_4) \cdot \mu^H(x_5) \cdot \mu^{HC}(x_6) \cdot \mu^H(x_7) \cdot \\ & \mu^H(x_8) \cdot \mu^H(x_9) \cdot \mu^H(x_{10}) \cdot \mu^H(x_{11}) \vee \mu^B(x_1) \cdot \mu^H(x_2) \cdot \mu^B(x_3) \cdot \mu^{BC}(x_4) \cdot \mu^{HC}(x_5) \cdot \mu^C(x_6) \cdot \\ & \mu^{HC}(x_7) \cdot \mu^{HC}(x_8) \cdot \mu^{HC}(x_9) \cdot \mu^{HC}(x_{10}) \cdot \mu^{HC}(x_{11}) \vee \mu^B(x_1) \cdot \mu^H(x_2) \cdot \mu^B(x_3) \cdot \mu^B(x_4) \cdot \mu^C(x_5) \cdot \\ & \mu^{BC}(x_6) \cdot \mu^C(x_7) \cdot \mu^C(x_8) \cdot \mu^C(x_9) \cdot \mu^C(x_{10}) \cdot \mu^C(x_{11}) \vee \\ & \mu^B(x_1) \cdot \mu^H(x_2) \cdot \mu^B(x_3) \cdot \mu^B(x_4) \cdot \mu^{BC}(x_5) \cdot \\ & \mu^B(x_6) \cdot \mu^{BC}(x_7) \cdot \mu^{BC}(x_8) \cdot \mu^C(x_9) \cdot \mu^{BC}(x_{10}) \cdot \mu^{BC}(x_{11}) \vee \\ & \mu^B(x_1) \cdot \mu^H(x_2) \cdot \mu^B(x_3) \cdot \mu^B(x_4) \cdot \mu^B(x_5) \cdot \\ & \mu^B(x_6) \cdot \mu^B(x_7) \cdot \mu^B(x_8) \cdot \mu^C(x_9) \cdot \mu^{BC}(x_{10}) \cdot \mu^{BC}(x_{11}) \end{aligned}$$

Оценка метрологических показателей. В большинстве биомедицинских исследований за приемлемый уровень вероятности безошибочного прогноза обычно принимают 95%. Это означает, что в генеральной совокупности доля возможных отклонений от выявленных закономерностей не превысит 5%. Однако в ситуациях, связанных с высокими рисками (использование токсичных препаратов, вакцин, оперативные вмешательства), когда потенциальные осложнения могут быть крайне серьезными, применяют более строгий порог в 99,7%: в таком случае вероятность расхождений с установленными закономерностями не должна превысить 1%.

Каждому выбранному уровню вероятности (P) соответствует определённое критериальное значение t, которое зависит от объёма выборки. Так, если $n > 30$, то при $P=99,7\%$ $t=3$, а при $P=95,5\%$ $t=2$. Если же $n < 30$, то нужное значение t определяется по специальным таблицам (по данным Н.А. Плохинского).

Для оценки ошибки репрезентативности (mр) и расчёта доверительных границ относительного показателя генеральной совокупности (Pген) использовались результаты как врачебной диагностики (офтальмолога), так и полученные при работе экспертной базы. В исследование вошли 42 пациента с различными стадиями глаукомы в возрасте от 50 до 65 лет.

Таблица 2 – Сравнительный анализ результатов, полученных различными путями

Диагноз врача-офтальмолога			Диагноз получен с помощью экспертной базы		
Кол-во больных	Стадии глаукомы	Кол-во больных в %	Кол-во больных	Стадии глаукомы	Кол-во больных в %
18	I	43	17	I	40
6	II	14	5	II	12
18	III	43	20	III	48

Определение ошибки репрезентативности относительного показателя по диагнозу врача-офтальмолога:

$$m_{1в} = \sqrt{\frac{43 \times (100 - 43)}{42}} = 7,64\%,$$

$$m_{2в} = \sqrt{\frac{14 \times (100 - 14)}{42}} = 5,35\%,$$

$$m_{3в} = \sqrt{\frac{43 \times (100 - 43)}{42}} = 7,64\%.$$

Определение ошибки репрезентативности относительного показателя по диагнозу полученному с помощью экспертной базы:

$$m_{1с} = \sqrt{\frac{40 \times (100 - 40)}{42}} = 7,56\%,$$

$$m_{2с} = \sqrt{\frac{12 \times (100 - 12)}{42}} = 5,01\%,$$

$$m_{3с} = \sqrt{\frac{48 \times (100 - 48)}{42}} = 7,71\%.$$

Вычисление доверительных границ средней величины генеральной совокупности (Pген) производится следующим образом:

- необходимо задать степень вероятности безошибочного прогноза (P=95%);

- при заданной степени вероятности и числе наблюдений более 30, величина критерия t равна 2 (t = 2).

$$\text{Тогда } P_{1в} = P_{выб} \pm tm = 43\% \pm 2 \times 7,64 = 43\% \pm 15,28\%$$

Тогда $P_{2в} = P_{выб} \pm tm = 14\% \pm 2 \times 5,35 = 14\% \pm 10,70\%$

Тогда $P_{3в} = P_{выб} \pm tm = 43\% \pm 2 \times 7,64 = 43\% \pm 15,28\%$

Тогда $P_{1с} = P_{выб} \pm tm = 40\% \pm 2 \times 7,56 = 40\% \pm 15,12\%$

Тогда $P_{2с} = P_{выб} \pm tm = 12\% \pm 2 \times 5,01 = 12\% \pm 10,02\%$

Тогда $P_{3с} = P_{выб} \pm tm = 48\% \pm 2 \times 7,71 = 48\% \pm 15,42\%$

Принимая во внимание результаты вычисления доверительных границ средней величины генеральной совокупности ($P_{ген}$) можем установить с вероятностью безошибочного прогноза $P = 95\%$, что частота обнаружений глаукомы I стадии в возрасте 50-65 лет будет находиться в пределах от 27,72% до 58,28% случаев (диагноз врача-офтальмолога) и от 24,88% до 55,12% (диагноз, полученный с помощью экспертной базы). Частота выявлений глаукомы I I стадии в возрасте 50-65 лет будет находиться в пределах от 3,30% до 24,70% случаев (диагноз врача-офтальмолога) и от 1,98% до 22,02% (диагноз, полученный за помощью экспертной базы). Частота выявлений глаукомы I II стадии в возрасте 50-65 лет будет находиться в пределах от 27,72% до 58,28% случаев (диагноз врача-офтальмолога) и от 32,58% до 63,42% (диагноз, полученный за помощью экспертной базы).

Рекомендации по реализации оптико-электронной системы для получения изображения сетчатки глаза. На рис. 2 представлено схематическое изображение хода лучей в конструкции фотографического офтальмоскопа, предназначенного для фиксации изображения сетчатки глаза, на рис. 3 представлена оптико-электронная система для анализа офтальмологических изображений, на рис. 4 – представлено изображение сетчатки глаза человека, полученное в результате использования офтальмоскопа фотографического.

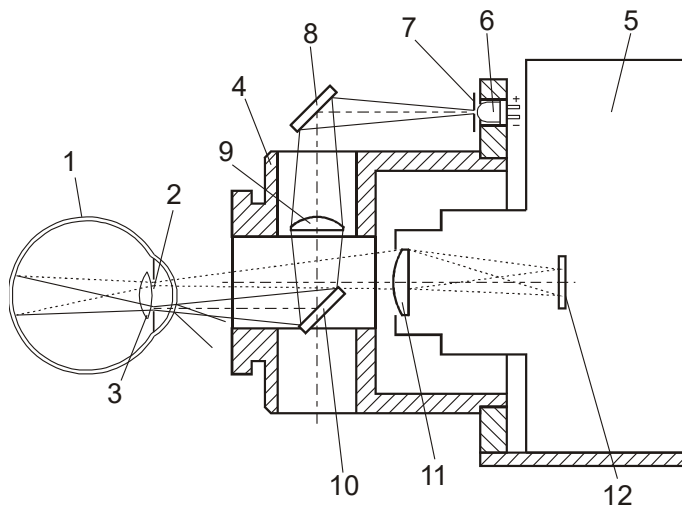


Рисунок 2 – Схематическое изображение хода лучей в конструкции цифрового офтальмоскопа

Фотографический офтальмоскоп, корпус оптической насадки 4, в котором расположена оптическая система, содержащая диафрагму 7, первое 8, второе 10 зеркала и конденсор 9. Кроме того устройство содержит цифровую камеру 5, белый светодиод 6, объектив цифровой камеры 11, матрицу цифровой камеры 12, а также на рис. 6 показано расположение глаза 1 пациента, его зрачка 2 и хрусталика 3, причем глаз 1 пациента, имеющий зрачок 2 и хрусталик 3, связан с выходом второго зеркала 10, вход которого связан с входом конденсора 9 и объективом цифровой камеры. 11, выход которой соединен с входом матрицы цифровой камеры 12, выход конденсора 9 связан с первым зеркалом 8, вход которого связан с диафрагмой 7, соединенной с выходом белого светодиода 6.

Фотографический офтальмоскоп работает следующим образом. Рассеянный свет от белого светодиода 6 через диафрагму 7 фокусируется с помощью системы зеркал 8, 10 и конденсора 9, проходя через зрачок 2 и хрусталик 3 глаза 1, освещает глазное дно. Оптическая система, состоящая из диафрагмы 7, зеркал 8 и 10 и конденсора 9, помещена в корпус оптической насадки 4. Изображение глазного дна проходит через оптическую систему глаза 1 и параллельным лучом попадает на объектив цифровой камеры 11, содержащийся в цифровой фотокамере 5, где формируется увеличенное изображение сетчатки глаза (рис. 3), отображаемое с помощью цифровой матрицы 12 для дальнейшего анализа, врачом. За счет введения белого светодиода, зеркал, конденсора, объектива и матрицы цифровой камеры, была увеличена функциональность офтальмоскопа, что позволяет врачу улучшить диагностику глазных болезней и воспроизводить историю болезни (Мамырбаев, et al., 2024).



Рисунок 3 – Оптико-электронная система для анализа офтальмологических изображений

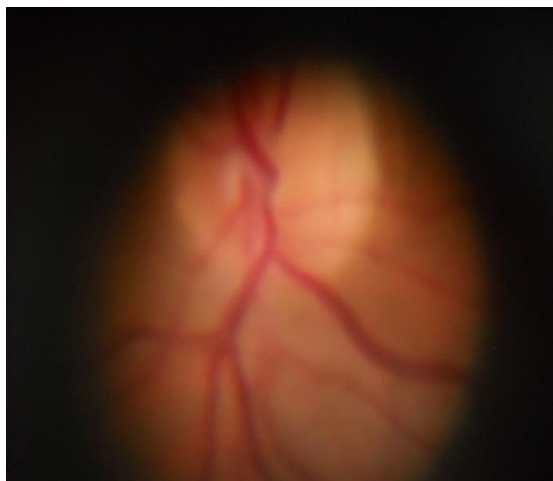


Рисунок 8 - Изображение сетчатки глаза

Результаты и обсуждение. Для оценки эффективности разработанной оптико-электронной системы был проведён ряд экспериментов, в ходе которых сравнивались результаты диагностики, полученные от врача-офтальмолога, и выводы экспертной системы, основанной на нечеткой логике и анализе изображений глазного дна. Ниже приводятся ключевые итоги.

Сравнение с результатами офтальмолога. На первом этапе изучения была сформирована группа из 42 пациентов (возраст 50–65 лет) с разными стадиями глаукомы. При этом:

- Диагноз офтальмолога принимался в качестве «контрольного» (традиционный метод);
- Диагноз системы определялся автоматически с использованием эталонной базы изображений и набора правил нечеткой классификации.

Обобщённые результаты сравнительного анализа приведены в табл. 2 (см. предыдущие разделы). В среднем расхождения между экспертной базой и мнением врача были незначительными. Так, процент пациентов с I стадией глаукомы, выявленных системой, отличался от показателя по офтальмологу в пределах 3 % (40 % против 43 %). Аналогичное соотношение наблюдалось и для II, III стадий. Ошибка репрезентативности при уровне доверия 95 % варьировалась в интервалах $\pm 10\text{--}15\%$, что типично для подобных клинических обследований с малым объёмом выборки.

Полученные данные указывают на то, что автоматизированный метод в целом надёжно воспроизводит диагноз, соответствующий экспертной оценке. При этом остаётся определённая вариативность, связанная как с индивидуальными отличиями пациентов, так и с особенностями самой системы (настройка порогов, вариации качества снимков и т. п.). Тем не менее расхождения находятся в рамках допустимых доверительных интервалов.

Оценка точности классификации на расширенной выборке. На втором

этапе для более масштабной проверки была отобрана выборка из 126 человек, также имеющих подозрение на глаукому или уже установленный диагноз. Участникам проводилось комплексное обследование, включавшее измерение внутриглазного давления, анализ состояния диска зрительного нерва, а также автоматическую обработку снимков глазного дна с помощью предложенной системы. По итогам эксперимента:

- Средняя точность (ассигасу) автоматической классификации стадий глаукомы составила 97–98 %.
- Чувствительность при выявлении ранней стадии (I) достигала около 94 %, что позволяет своевременно обнаруживать начальные изменения.
- Специфичность, характеризующая верное определение «не-глаукомных» случаев или более лёгких состояний, превысила 95 %.

Таким образом, даже при существенном увеличении числа участников система продолжила демонстрировать высокую воспроизводимость результатов. Ошибки чаще всего возникали в случаях недостаточно чёткого или засвеченного снимка, а также при крайне атипичной форме патологических изменений. В таких ситуациях экспертная система могла выдавать либо неопределённый результат, либо ошибаться на одну стадию заболевания. Однако подобные случаи единичны и не оказывают статистически значимого влияния на итоговые показатели точности.

Анализ факторов, влияющих на результат. Незначительные расхождения в результатах диагностики, полученных разными путями, можно объяснить несколькими причинами:

1. Качество изображения. При низкой контрастности или наличии артефактов (блики, тени, неравномерная яркость) повышается вероятность некорректного распознавания формы диска зрительного нерва и экскавации.
2. Индивидуальные особенности пациентов. У некоторых испытуемых анатомические характеристики глаза могут отличаться от среднего, что затрудняет использование универсальных пороговых значений.
3. Точность настройки системы и человеческий фактор. От квалификации оператора (при проведении съёмки и первичной диагностики) и корректного выбора параметров программы может зависеть итоговый диагноз.

В то же время систематический характер полученных результатов даёт основание утверждать, что даже при наличии перечисленных ограничений методика показывает высокую надёжность и согласуется с офтальмологическим «золотым стандартом». В перспективе целесообразно продолжить исследования на ещё более широкой базе пациентов, чтобы оценить эффективность системы при редких формах глаукомы и подтвердить воспроизводимость результатов в различных клинических условиях.

Заключение. В представленной работе разработана и экспериментально проверена оптически-электронная экспертная система для выявления и классификации глаукомы. Основные результаты: Предложены математические

модели, позволяющие количественно оценивать степень тяжести патологии на основе набора признаков (внутриглазное давление, поле зрения, геометрия диска зрительного нерва и др.). Сформированы алгоритмы на базе нечеткой логики, интегрированные с блоком обработки цифровых изображений глазного дна. Реализован прототип программно-аппаратного комплекса: он включает устройство сбора (фундус-камера или модифицированный офтальмоскоп) и модуль анализа изображений. Проведён эксперимент на выборке пациентов (126 человек), показавший высокую точность (до 97–98%) в классификации стадий глаукомы. Таким образом, применение описанной системы способно существенным образом повысить оперативность и точность диагностики в офтальмологии. Дальнейшее совершенствование может состоять в расширении набора анализируемых параметров и внедрении дополнительных методов машинного обучения для автоматической коррекции правил, заложенных экспертами.

References

- Ali N., Wajid S.A., Saeed N., Khan M.D. (2007) The relative frequency and risk factors of primary open angle glaucoma and angle closure glaucoma *PJO* 23(3) 117–21 <https://pjo.org.pk/index.php/pjo/article/view/766> (in Eng)
- Asaoka R., Murata H., Iwase A. (2020) Recent advances in artificial intelligence technologies for glaucoma *Expert Review of Ophthalmology* 15(3) 125–134 (in Eng)
- Boland M.V., Ervin A.M., Friedman D.S., Jampel H.D., Hawkins B.S., Vollenweider D., Chelladurai Y., Ward D., Suarez-Cuervo C., Robinson K.A. (2013) Comparative effectiveness of treatments for open-angle glaucoma a systematic review for the US preventive services task force *Ann Intern Med* 158(4) 271–9 <https://www.acpjournals.org/doi/10.7326/0003-4819-158-4-201302190-00008> (in Eng)
- Bolme P., Sridharan S., Varghese S., Prathil S. (2021) Automated detection of glaucoma using deep learning techniques a systematic review *Eye and Vision* 8(1) 24 (in Eng)
- Burgoyne C.F., Downs J.C., Bellezza A.J., Suh J.K.F., Hart R.T. (2005) The optic nerve head as a biomechanical structure a new paradigm for understanding the role of IOP-related stress and strain in the pathophysiology of glaucomatous optic nerve head damage *Prog Retin Eye Res* 24(1) 39–73 <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1350946204000539> (in Eng)
- Christopher M., Anantharaman G., Robin A.L. (2021) Artificial intelligence and glaucoma screening *Journal of Glaucoma* 30(1) 76–80 (in Eng)
- Divya L., Jacob J. (2018) Performance analysis of glaucoma detection approaches from fundus images *Proc Comput Sci* 143 544–51 <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877050918321276> (in Eng)
- Dogru M., Katakami C., Inoue M. (2001) Ocular microcirculation changes in noninsulin-dependent diabetes mellitus *Ophthalmology* 108 586–592 (in Eng)
- Hu Y., Wang J., Xie P. (2021) Glaucoma Detection in Optical Coherence Tomography Images using Deep Learning Techniques A Review *Current Medical Imaging Reviews* 17(1) 43–51 (in Eng)
- Kashyap R., Nair R., Gangadharan S.M.P., (2022) Glaucoma Detection and Classification Using Improved U-Net Deep Learning Model *Healthcare* 10 2497 (in Eng)
- Li S., Zhang Y., Liu X., Yang J., Zhang L. (2020) Automated glaucoma diagnosis using deep learning and fundus photographs a systematic review and meta-analysis *BMJ Open Ophthalmology* 5(1) e000501 (in Eng)
- Mamyrbayev O., Pavlov S., Saldan Y. (2024a) Increasing the reliability of diagnosis of diabetic retinopathy based on machine learning *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 2/9(128) <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.297849> (in Eng)

Mamyrbayev O., Pavlov S., Saldan Y. (2024b) Optical and Electronic Expert System for Diagnosing Eye Pathology in Glaucoma *Applied Sciences* 14 7816 (in Eng)

Medeiros F.A., Xu Y., Weinreb R.N. (2021) Artificial intelligence in glaucoma promises and challenges *Current Opinion in Ophthalmology* 32(2) 133–139 (in Eng)

Rotshtein A. (1998) Design and Tuning of Fussy IF THEN Vuly for Medical Didicol Diagnosis In Fussy and Neuro-Fussy Systems in Medicine Teodovescu N Kandel A Lain I Eds CRC-Press Boca Raton FL USA 235–295 (in Eng)

Song W., Huang Y., Cui H., Zhang Z., Wang Y. (2021) Deep learning for glaucoma diagnosis an updated review *Expert Review of Medical Devices* 18(5) 337–348 (in Eng)

Thakur N., Kaur H., Kaur P., Kumar A. (2021) Machine learning techniques in glaucoma diagnosis a systematic review *International Ophthalmology* 41(3) 851–864 (in Eng)

Yaqoob U., Fathi A., Zadeh E.K. (2020) Artificial Intelligence in Ophthalmology A Review of the Literature *Cureus* 12(9) e10599 (in Eng)

CONTENTS

INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

A.Abdiraman, L.Aldasheva, A.Zakirova, B.Mukhametzhanova, I.Orman GLOBAL ANALYSIS OF MOBILE BROADBAND NETWORK PERFORMANCE: INSIGHTS INTO 5G DEPLOYMENT AND FUTURE 6G CHALLENGES.....	5
R. Abdualiyeva, L. Smagulova, A. Yelepbergenova THE EFFECTIVENESS OF USING CHATGPT IN PROGRAMMING.....	17
A.B. Aben, N.M. Zhunissov, G.N. Kazbekova, A.N. Amanov, A.A. Abibullayeva DEEPFAKE ARTIFICIAL VOICE DETECTION. COMPARISON OF THE EFFECTIVENESS OF THE LSTM AND CNN MODELS.....	32
A.A. Aitkazina, N.O. Zhumazhan DEVELOPMENT OF A BIOTECHNICAL SYSTEM FOR LASER TREATMENT OF SUNFLOWER SEEDS.....	49
G. Aksholak, A. Bedelbayev, R. Magazov SECURING KUBERNETES: AN ANALYSIS OF VULNERABILITIES, TOOLS, AND FUTURE DIRECTIONS.....	66
A.T. Akynbekova, A.A. Mukhanova, Salah Al-Majeed, A.G. Altayeva PROBLEMS OF IMPLEMENTATION OF FUZZY MODELS OF DECISION MAKING IN SOCIAL PROCESSES.....	78
K.M. Aldabergenova, M.A. Kantureyeva, A.B. Kassekeyeva, A. Akhmetova, T.N. Esikova FEATURES AND PROSPECTS FOR THE USE OF DIGITAL PLATFORMS AND INTERNET MARKETING IN THE DEVELOPMENT OF AGRICULTURAL PRODUCTION.....	93
A. Yerimbetova, M. Sambetbayeva, E. Daiyrbayeva, B. Sakenov, U. Berzhanova CREATING A MODEL FOR RECOGNIZING THE KAZAKH SIGN LANGUAGE USING THE DEEP LEARNING METHOD.....	108
A.N. Zhidebayeva, S.T. Akhmetova, A.O. Aliyeva, B.O. Tastanbekova, G.S. Shaimerdenova REVIEW OF DETECTION AND PREVENTION OF OFFENSIVE LANGUAGE VIA SOCIAL MEDIA DATA MINING.....	124

K.S. Ivanov, D.T. Tulekenova

ENSURING THE DETERMINABILITY OF MOTION OF AN ADAPTIVE SPACECRAFT DRIVE BY INTRODUCING AN ADDITIONAL VELOCITY CONSTRAINT FORCE.....136

M.N. Kalimoldayev, Z.D. Ormansha, K.B. Begaliev, A.S. Ainagulova, A.O. Aukenova

A BLOCKCHAIN MODEL FOR AGRICULTURAL PRODUCT TRACKING THAT SUPPORTS FEDERAL TRAINING.....151

I. Massyrova, O. Joldasbayev, S. Joldasbayev, A. Bolysbek, S. Mambetov
AUTOMATION OF THE SYSTEM FOR INDUSTRIAL PRACTICE AND INTERNSHIPS FOR STUDENTS IN ORGANIZATIONS OUTSIDE OF THE UNIVERSITY.....168

A.B. Mimenbayeva, G.O. Issakova, G.K. Bekmagambetova, A.B. Aruova, E.K. Darikulova

DEVELOPMENT OF DEEP LEARNING MODELS FOR FIRE SOURCES PREDICTION.....185

K. Momynzhanova, S.Pavlov, Sh. Zhumagulova

MATHEMATICAL MODELS AND PRACTICAL IMPLEMENTATION OF AN OPTICAL-ELECTRONIC EXPERT SYSTEM FOR GLAUCOMA DETECTION.....202

B.O. Mukhametzhanova, L.N. Kulbaeva, Z.B. Saimanova, E.K. Seipisheva, B.M. Sadanova

OPTIMIZATION AND INTEGRATION OF DOCKER TECHNOLOGY IN MODERN INFORMATION SYSTEMS.....218

A.R. Orazayeva, J.A. Tussupov, A.K. Shaikhanova, G.B. Bekeshova, A.D. Galymova

FUZZY EXPERT SYSTEM FOR ASSESSING DYNAMIC CHANGES IN BIOMEDICAL IMAGES OF BREAST CANCER TUMORS.....227

D. Oralbekova, O. Mamyrbayev, A. Akhmediyarova, D. Kassymova
USING KAZAKH NER DATASETS FOR MULTICLASS CLASSIFICATION IN THE LEGAL DOMAIN: A COMPARATIVE STUDY OF BERT, GPT, AND LSTM MODELS.....242

A. Ospanov, A.J. Pedro, T. Turymbetov, K. Dyussekeyev, A. Zhumadillayeva
ADVANCEMENTS IN ERP SYSTEMS THROUGH EMERGING

TECHNOLOGIES, MACHINE LEARNING AND HYBRID OPTIMIZATION
TECHNIQUES.....259

**K. Rabbany, A. Bekarystankyzy, A. Shoiynbek, D. Kuanyshbay,
A. Mukhametzhano**
DETECTION OF SUICIDAL TENDENCIES IN REDDIT POSTS
USING MACHINE LEARNING.....270

A. Taukenova
PERSONALIZED ARCHITECTURE: CREATING UNIQUE SPACES
WITH DIGITAL TECHNOLOGIES.....283

МАЗМҰНЫ

**АҚПАРАТТЫҚ-КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ
ТЕХНОЛОГИЯЛАР**

Ә. Әбдіраман, Л. Алдашева, А. Закирова, Б. Мухаметжанова, И. Орман МОБИЛЬДІ КЕН ЖОЛАҚТЫ ЖЕЛІЛЕРДІҢ ТИІМДІЛІГІНІҢ ЖАҒАНДЫҚ ТАЛДАУ: 5G ЕНГІЗУ ЖӘНЕ 6G БОЛАШАҚ МӘСЕЛЕЛЕРІ.....	5
Р.Е. Абдуалиева, Л.А. Смагулова, А.У. Елепбергенова БАҒДАРЛАМАЛАУДА СНАТGPT ҚОЛДАНУ ТИІМДІЛІГІ.....	17
А.Б. Абен, Н.М. Жунисов, Г.Н. Казбекова, А.Н. Аманов, А.А. Абибуллаева DEEPFAKE ЖАСАНДЫ ДАУЫСТЫ АНЫҚТАУ. LSTM ЖӘНЕ CNN МОДЕЛЬДЕРІНІҢ ТИІМДІЛІГІ САЛЫСТЫРУ.....	32
Ә.А. Айтқазина, Н.Ө. Жұмажан КҮНБАҒЫС ТҰҚЫМДАРЫН ЛАЗЕРМЕН ӨНДЕУГЕ АРНАЛҒАН БИОТЕХНИКАЛЫҚ ЖҮЙЕНІ ДАМЫТУ.....	49
Г.И. Ақшолақ, А.А. Бедельбаев, Р.С. Мағазов KUBERNETES-ТІ ҚОРҒАУ: ОСАЛДЫҚТАРДЫ, ҚҰРАЛДАРДЫ ЖӘНЕ БОЛАШАҚ БАҒЫТТАРДЫ ТАЛДАУ.....	66
А.Т. Ақынбекова, А.А. Муханова, Salah Al-Majeed, Г.С. Алтаева ӘЛЕУМЕТТІК ПРОЦЕСТЕРДЕ ШЕШІМДЕР ҚАБЫЛДАУДЫҢ БҰЛДЫР МОДЕЛЬДЕРІН ЕНГІЗУ МӘСЕЛЕЛЕРІ.....	78
К.М. Алдабергенова, М.А. Кантуреева, А.Б. Касекеева, А.Ж. Ахметова, Т.Н. Есикова АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ӨНДІРІСІН ДАМЫТУДА ЦИФРЛЫҚ ПЛАТФОРМАЛАР МЕН ИНТЕРНЕТ-МАРКЕТИНГТІ ҚОЛДАНУДЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ МЕН ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ.....	93
А.С. Еримбетова, М.А. Сәмбетбаева, Э.Н. Дайырбаева, Б.Е. Сәкенов, У.Г. Бержанова ТЕРЕҢ ОҚЫТУ ӘДІСІН ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ ҚАЗАҚ ҰМ ТІЛІН ТАНУҒА АРНАЛҒАН МОДЕЛЬ ҚҰРУ.....	108

- А.Н. Жидебаева, С.Т. Ахметова, А.О. Алиева, Б.О. Тастанбекова,
Г.С. Шаймерденова**
ӘЛЕУМЕТТІК ЖЕЛІЛЕРДЕН DATA MINING АРҚЫЛЫ БЕЙӘДЕП
СӨЗДЕРДІ АНЫҚТАУ ЖӘНЕ АЛДЫН АЛУҒА ШОЛУ.....124
- К.С. Иванов, Д.Т. Тулекенова**
ЖЫЛДАМДЫҚ БАЙЛАНЫСЫНЫҢ ҚОСЫМША КҮШІН ЕНГІЗУ
АРҚЫЛЫ ҒАРЫШ АППАРАТЫНЫҢ БЕЙІМДЕЛГЕН ЖЕТЕК
ҚОЗҒАЛЫСЫНЫҢ АЙҚЫНДЫЛЫҒЫН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ.....136
- М.Н. Калимолдаев, З.Д. Орманша, К.Б. Бегалиева, А.С. Айнагулова,
А.О. Аукенова**
ФЕДЕРАТИВТІ ОҚЫТУДЫ ҚОЛДАЙТЫН АУЫЛШАРУАШЫЛЫҚ
ӨНІМДЕРІН БАҚЫЛАУҒА АРНАЛҒАН БЛОКЧЕЙН МОДЕЛІ.....151
- И. Масырова, О.К. Джолдасбаев, С.К. Джолдасбаев, А. Болысбек,
С.Т. Мамбетов**
УНИВЕРСИТЕТТЕН ТЫС ҰЙЫМДАРДА СТУДЕНТТЕРДІҢ
ӨНДІРІСТІК ПРАКТИКАСЫ МЕН ТАҒЫЛЫМДАМАСЫН
АВТОМАТТАНДЫРУ ЖҮЙЕСІ.....168
- А.Б. Мименбаева, Г.О. Исакова, Г.К. Бекмагамбетова, Ә.Б. Аруова,
Е.Қ. Дәрікүлова**
ӨРТ КӨЗДЕРІН БОЛЖАУ ҮШІН ТЕРЕҢ ОҚЫТУ МОДЕЛЬДЕРІН
ӘЗІРЛЕУ.....185
- К.Р. Момынжанова, С.В. Павлов, Ш.П. Жұмағұлова, М.Т. Тұңғышбаев**
ГЛАУКОМАНЫ АНЫҚТАУҒА АРНАЛҒАН ОПТИКАЛЫҚ-
ЭЛЕКТРОНДЫҚ САРАПТАМАЛЫҚ ЖҮЙЕНІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ
МОДЕЛЬДЕРІ МЕН ПРАКТИКАЛЫҚ ІСКЕ АСЫРЫЛУЫ.....202
- Б.О. Мухаметжанова, Л.Н. Құлбаева, З.Б. Сайманова, Э.К. Сейпишева,
Б.М. Саданова**
ЗАМАНАУИ АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДЕГІ DOCKER
ТЕХНОЛОГИЯСЫН ОҢТАЙЛАНДЫРУ ЖӘНЕ ИНТЕГРАЦИЯЛАУ.....218
- А.Р. Оразаева, Д.А. Тусупов, А.К. Шайханова, Г.Б. Бекешова,
Ә.Д. Ғалымова**
СҮТ БЕЗІ ҚАТЕРЛІ ІСІГІ КЕЗІНДЕ БИОМЕДИЦИНАЛЫҚ
КЕСКІНДЕРІНДЕГІ ДИНАМИКАЛЫҚ ӨЗГЕРІСТЕРДІ БАҒАЛАУҒА
АРНАЛҒАН АНЫҚ ЕМЕС САРАПТАМА ЖҮЙЕСІ.....227

Д. Оралбекова, О. Мамырбаев, А. Ахмедиярова, Д. Қасымова ҚАЗАҚ ТІЛІНДЕГІ NER ДЕРЕКТЕР ЖИНАҒЫН ҚҰҚЫҚТЫҚ САЛАДА КӨПСАНАТТЫ ЖІКТЕУ ҮШІН ПАЙДАЛАНУ: BERT, GPT ЖӘНЕ LSTM МОДЕЛЬДЕРІНІҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ ЗЕРТТЕУІ.....	242
А. Оспанов, П. Алонсо-Жорда, Т. Тұрымбетов, К. Дүйсекеев, А. Жұмаділлаева ERP ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ЖЕТІЛДІРІЛУІ: ЗАМАНАУИ ТЕХНОЛОГИЯЛАР, МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ЖӘНЕ ГИБРИДТІ ОПТИМИЗАЦИЯ ӘДІСТЕРІ.....	259
К. Раббани, А. Бекарыстанқызы, Д. Қуанышбай, А. Шойынбек, А. Мұхаметжанов МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫ ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ REDDIT ПОСТТАРЫНДАҒЫ СУИЦИДТІК ТЕНДЕНЦИЯЛАРЫН АНЫҚТАУ.....	270
Ә. Таукенова ЖЕКЕЛЕНДІРІЛГЕН АРХИТЕКТУРА: ДИДЖИТАЛ ТЕХНОЛОГИЯЛАРМЕН ЕРЕКШЕ КЕҢІСТІКТЕР ЖАРАТУ.....	283

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

А. Абдираман, Л. Алдашева, А. Закирова, Б. Мухаметжанова, И. Орман ГЛОБАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОБИЛЬНОЙ ШИРОКОПОЛОСНОЙ СЕТИ: ВНЕДРЕНИЕ 5G И БУДУЩИЕ ЗАДАЧИ 6G.....	5
Р.Е. Абдуалиева, Л.А. Смагулова, А.У. Елепбергенова ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ SNATGPT В ПРОГРАММИРОВАНИИ.....	17
А.Б. Абен, Н.М. Жунисов, Г.Н. Казбекова, А.Н. Аманов, А.А. Абибуллаева ОБНАРУЖЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ГОЛОСА DEERFAKE. СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕЛЕЙ LSTM И CNN.....	32
А.А. Айтказина, Н.О. Жумажан РАЗРАБОТКА БИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА.....	49
Г.И. Акшолок, А.А. Бедельбаев, Р.С. Магазов ЗАЩИТА KUBERNETES: АНАЛИЗ УЯЗВИМОСТЕЙ, ИНСТРУМЕНТОВ И НАПРАВЛЕНИЙ НА БУДУЩЕЕ.....	66
А.Т. Акынбекова, А.А. Муханова, Salah Al-Majeed, Г.С. Алтаева ПРОБЛЕМЫ РЕАЛИЗАЦИИ НЕЧЕТКИХ МОДЕЛЕЙ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СОЦИАЛЬНЫХ ПРОЦЕССАХ.....	78
К.М. Алдабергенова, М.А. Кантуреева, А.Б. Касекеева, А.Ж. Ахметова, Т.Н. Есикова ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ПЛАТФОРМ И ИНТЕРНЕТ-МАРКЕТИНГА В РАЗВИТИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	93
А.С. Еримбетова, М.А. Самбетбаева, Э.Н. Дайырбаева, Б.Е. Сакенов, У.Г. Бержанова СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ КАЗАХСКОГО ЖЕСТОВОГО ЯЗЫКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ.....	108

- А.Н. Жидебаева, С.Т. Ахметова, А.О. Алиева, Б.О. Тастанбекова,
Г.С. Шаймерденова**
ОБЗОР ОБНАРУЖЕНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ОСКОРБИТЕЛЬНОЙ
ЛЕКСИКИ С ПОМОЩЬЮ DATA MINING В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ....124
- К.С. Иванов, Д.Т. Тулеkenова**
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОПРЕДЕЛИМОСТИ ДВИЖЕНИЯ АДАПТИВНОГО
ПРИВОДА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА С ПОМОЩЬЮ ВВЕДЕНИЯ
ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ СИЛЫ СКОРОСТНОЙ СВЯЗИ.....136
- М.Н. Калимолдаев, З.Д. Орманша, К.Б. Бегалиева, А.С. Айнагулова,
А.О. Аукенова**
БЛОКЧЕЙН-МОДЕЛЬ ДЛЯ ОТСЛЕЖИВАНИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ С ПОДДЕРЖКОЙ
ФЕДЕРАТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ.....151
- И. Масырова, О.К. Джолдасбаев, С.К. Джолдасбаев, А. Болысбек,
С.Т. Мамбетов**
АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ
ПРАКТИКИ И СТАЖИРОВКИ СТУДЕНТОВ В ОРГАНИЗАЦИЯХ
ВНЕ ВУЗА.....168
- А. Мименбаева, Г. Исакова, Г.К. Бекмагамбетова, А.Б. Аруова,
Е.К. Дарикулова**
РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИСТОЧНИКОВ ПОЖАРОВ.....185
- К.Р. Момынжанова, С.В. Павлов, Ш.П. Жумагулова, М.Т. Тунгушбаев**
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ
ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ
ВЫЯВЛЕНИЯ ГЛАУКОМЫ.....202
- Б.О. Мухаметжанова, Л.Н. Кулбаева, З.Б. Сайманова, Э.К. Сейпишева,
Б.М. Саданова**
ОПТИМИЗАЦИЯ И ИНТЕГРАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ DOCKER В
СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ.....218
- А.Р. Оразаева, Д.А. Тусупов, А.К. Шайханова, Г.Б. Бекешова,
А.Д. Галымова**
НЕЧЕТКАЯ ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ ДИНАМИЧЕСКИХ
ИЗМЕНЕНИЙ В БИМЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ ОПУХОЛЕЙ
ПРИ РАКЕ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ.....227

Д. Оралбекова, О. Мамырбаев, А. Ахмедиярова, Д. Касымова ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАБОРОВ ДАННЫХ NER НА КАЗАХСКОМ ЯЗЫКЕ ДЛЯ МУЛЬТИКЛАССИФИКАЦИИ В ПРАВОВОЙ СФЕРЕ: СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ BERT, GPT И LSTM.....	242
А. Оспанов, П. Алонсо-Жорда, Т. Турымбетов, К. Дюсекеев, А. Жумадилаева ПРОДВИЖЕНИЕ ERP СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И ГИБРИДНЫХ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ.....	259
К. Раббани, А. Бекарыстанкызы, Д. Куанышбай, А. Шойынбек, А. Мухаметжанов ОБНАРУЖЕНИЕ СУИЦИДАЛЬНЫХ ТЕНДЕНЦИЙ В ПУБЛИКАЦИЯХ НА REDDIT С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ.....	270
А. Таукенова ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННАЯ АРХИТЕКТУРА: СОЗДАНИЕ УНИКАЛЬНЫХ ПРОСТРАНСТВ С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	283

**Publication Ethics and Publication Malpractice
the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

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 National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan 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 National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan 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 National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:

www.nauka-nanrk.kz

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

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Директор отдела издания научных журналов НАН РК *А. Ботанқызы*

Редакторы: *Д.С. Аленов, Ж.Ш. Әден*

Верстка на компьютере *Г.Д. Жадыранова*

Подписано в печать 20.03.2025.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.

20,0 п.л. Заказ 1.