



TEMIR TAU TECH
UNIVERSITY

Қарағанды мемлекеттік
индустриялық университетінің
ХАБАРШЫСЫ

ВЕСТНИК

Карагандинского государственного
индустриального университета

BULLETIN

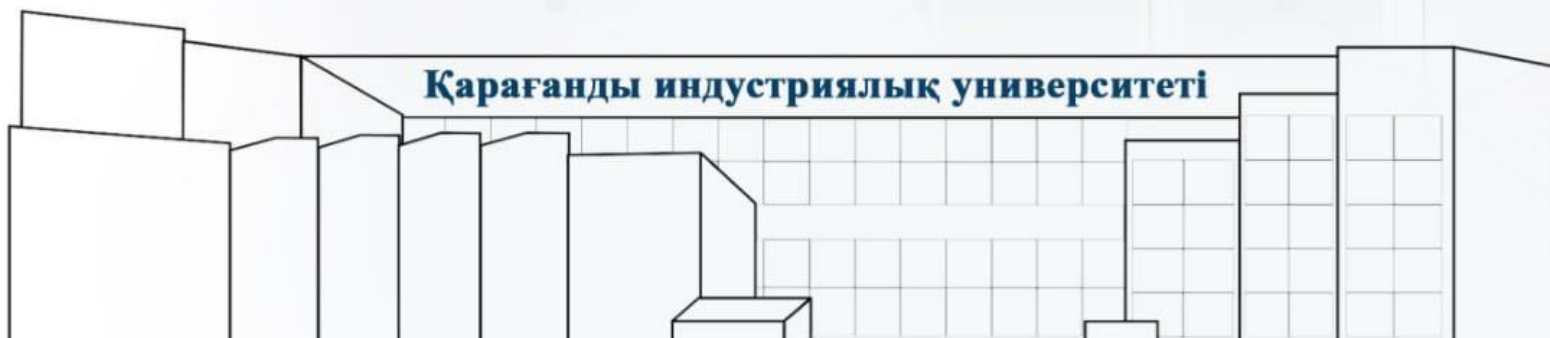
of the Karaganda state
industrial university

[HTTPS://VESTNIK.TTTU.EDU.KZ](https://vestnik.tttu.edu.kz)

2

(53) 2026

Қарағанды индустриялық университеті



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
ҚАРАҒАНДЫ МЕМЛЕКЕТТІК ИНДУСТРИЯЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

№ 2 (53) 2026 г.

e-ISSN: 3134-8467

p-ISSN: 2309-1177

**ҚАРАҒАНДЫ МЕМЛЕКЕТТІК ИНДУСТРИЯЛЫҚ
УНИВЕРСИТЕТІНІҢ ХАБАРШЫСЫ**

**BULLETIN OF THE
KARAGANDA STATE INDUSTRIAL UNIVERSITY**

**ВЕСТНИК КАРАГАНДИНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ИНДУСТРИАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА**

**СӘУІР-МАУСЫМ 2026
APRIL–JUNE 2026
АПРЕЛЬ–ИЮНЬ 2026**

**ЖЫЛЫНА 4 РЕТ ШЫҒАДЫ
QUARTERLY JOURNAL
ВЫХОДИТ 4 РАЗА В ГОД**

Теміртау - 2026

БАС РЕДАКТОР

Жаутиков Бахыт Ахатович – т.ғ.к., т.ғ.д., энергетика профессоры, «Қарағанды индустриялық университеті» КЕАҚ Басқарма төрағасы–Ректоры.

РЕДАКЦИЯЛЫҚ КОЛЛЕГИЯ

Белов Николай Александрович – т.ғ.д., профессор, «Құю процестерінің технологиясы» кафедрасы жанындағы ИЛТМ инжиниринг орталығының директоры, «Мәскеу болат және қорытпалар институты» Ұлттық зерттеу технологиялық университеті, Ресей; **Ким Александр Сергеевич** – т.ғ.д., Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институтының БОР зертханасының бас ғылыми қызметкері, Қазақстан; **Павлов Александр Васильевич** – т.ғ.д., «Болат және ферроқорытпалар металлургиясы» кафедрасының профессоры, «Мәскеу болат және қорытпалар институты» Ұлттық зерттеу технологиялық университеті, Ресей; **Панин Евгений Александрович** – PhD, «Металдарды қысыммен өңдеу» кафедрасының доценті, Қарағанды индустриялық университеті, Қазақстан; **Riad Taha Al-Kasasbeh** – PhD, Әл-Балқа қолданбалы университетінің профессоры (Al-Balqa' Applied University), Амман қ., Иордания; **Richard Fabik** – PhD, «Материалдарды өңдеу» кафедрасының профессоры, Техникалық университет, Острава қ., Чехия; **Syed Abdul Rahman Al-Haddad** – т.ғ.д., PhD, Компьютерлік және коммуникациялық жүйелер факультетінің профессоры, Universiti Putra Malaysia (UPM), Малайзия; **Nur Nabihah Yusof** – Universiti Sains Malaysia Физика мектебі, PhD, Пинанг, Малайзия; **Abdeslam Hassani** – Маркетинг және ақпараттық жүйелер кафедрасының профессоры, Квебек университеті Трүа-Ривьерде (Université du Québec à Trois-Rivières), Бизнес мектебі, Канада; **Sri Rizki Putri Primandari** – Инженерия факультетінің профессоры, Universitas Negeri Padang (UNP), химиялық және технологиялық инженерия саласының докторы, Индонезия; **Didik Hariyanto** – Электртехникалық білім беру кафедрасының профессоры, Universitas Negeri Yogyakarta (UNY), Индонезия; **Abdul Hafidz Bin Yusoff** – Биоинженерия және технологиялар факультетінің доценті, Universiti Malaysia Kelantan, Малайзия; **Кенжалиев Олжас Багдаулетович** – PhD, Ғылыми жұмыс және халықаралық ынтымақтастық жөніндегі проректор, «Қарағанды индустриялық университеті» КЕАҚ, Қазақстан; **Мыңжасар Есмұрат Аманғалиұлы** - Металлургия және машина жасау факультеті, «Қарағанды индустриялық университеті» КЕАҚ, PhD, Қазақстан; **Касымова Гүлжайна Куралбаевна** – PhD, «ИМиО» АҚ Зияткерлік меншік және халықаралық ынтымақтастық бөлімінің басшысы, Алматы қ., Қазақстан; **Christian S. Ugwuanyi** – Нигерия университетінің ғылыми білім беру бөлімі Білім факультеті, Еркін мемлекет университеті, Блумфонтейн, Оңтүстік Африка; **Кабиева Сауле Казжановна** – х.ғ.к., Қарағанды индустриялық университетінің Химиялық технология және экология кафедрасының профессоры, Теміртау қ., Қазақстан; **Кунаев Вячеслав Александрович** - Ғылым және инновация департаментінің директоры, «Қарағанды индустриялық университеті» КЕАҚ, PhD, Қазақстан.

Жауапты хатшы

Солтан Айдана – Ғылым және инновация департаментінің жетекші маманы, «Қарағанды индустриялық университеті» КЕАҚ, Қазақстан.

Носов Вячеслав Григорьевич – Ғылым және инновация департаментінің маманы, «Қарағанды индустриялық университеті» КЕАҚ, Қазақстан.

Журналдың сайты: https://vestnik.tttu.edu.kz/index.php/kariu_vestnik

Электрондық почта: bulletin@tttu.edu.kz

Байланыс телефоны: +7 (721) 391-39-01

Қарағанды мемлекеттік индустриялық университетінің хабаршысы

Меншік иесі: «Қарағанды индустриялық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы

1991 жылы құрылған - 2001 және 2013 жылдары атауы өзгертілген.

Мерзімді баспасөз басылымын және интернет-басылымды қайта есепке қою туралы куәлік: 08.05.2026 ж.

Баспахананың атауы, мекенжайы және редакцияның мекенжайы:

Қарағанды индустриялық университетінің даму орталығы, Республикалық даңғылы, 30,
Теміртау, Қарағанды облысы, 101400

EDITOR-IN-CHIEF

Zhautikov Bakhyt Akhatovich – Chairman of the Board - Rector of the NAO "Karaganda Industrial University", PhD, Doctor of Engineering, Professor of Energy.

EDITORIAL BOARD MEMBERS

Belov Nikolay Aleksandrovich – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Director of the ILTM Engineering Center at the Department of Foundry Technology at the National Research Technological University "Moscow Institute of Steel and Alloys", Russia; **Kim Alexander Sergeevich** – Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher of the BOR Laboratory of the Chemical-Metallurgical Institute named after. Zh. Abisheva, Kazakhstan; **Pavlov Alexander Vasilyevich** – Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Metallurgy of Steel and Ferroalloys at the National Research Technological University "Moscow Institute of Steel and Alloys", Russia; **Panin Evgeny Alexandrovich** – PhD, Associate Professor of the Department of Metal Forming at the Karaganda Industrial University, Kazakhstan; **Riad Taha Al-Kasasbeh** – PhD, Professor, Al-Balqa Applied University, Amman, Jordan; **Richard Fabik** – PhD, Professor of the Department of Materials Processing, Technical University of Ostrava, Czech Republic; **Syed Abdul Rahman Al-Haddad** – Doctor of Engineering, PhD, Professor, Faculty of Computer and Communication Systems, Universiti Putra Malaysia (UPM), Malaysia; **Nur Nabihah Yusof** – School of Physics, Universiti Sains Malaysia, 11800, USM, Pulau Pinang, Malaysia; **Abdeslam Hassani** – Professor, Business School, University of Quebec at Trois-Rivieres, Department: marketing and information systems Member of Institut of research on SMEs, University of Quebec at Trois-Rivieres, Canada; **Sri Rizki Putri Primandari** – PhD in Chemical and Process Engineering, Professor, Faculty of Engineering, Universitas Negeri Padang (UNP), Indonesia; **Didik Hariyanto** – Professor, Department of Electrical Engineering Education, Universitas Negeri Yogyakarta (UNY), Indonesia; **Abdul Hafidz Bin Yusoff** – Associate Professor, Faculty of Bioengineering & Technology, Universiti Malaysia Kelantan Director, Research Management and Division, Universiti Malaysia Kelantan; **Kenzhaliyev Olzhas Bagdauletovich** – PhD, Member of the Management Board – Vice-Rector for Research and International Cooperation, Non-Profit Joint-Stock Company "Karaganda Industrial University", Kazakhstan; **Myngzhassar Yesmurat** - Faculty of Metallurgy and Mechanical Engineering, Karaganda Industrial University, Kazakhstan; **Kassymova Gulzhaina Kuralbayevna** – PhD, Head of the Department of Intellectual Property and International Cooperation, Joint-Stock Company "Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation" (JSC IMOB), Almaty, Kazakhstan; **Christian S. Ugwuanyi** – Department of Science Education, University of Nigeria Faculty of Education, University of the Free State, Bloemfontein, South Africa; **Kabieva Saule Kazhanovna** – Candidate of Chemical Sciences, Professor, Department of Chemical Technology and Ecology, Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan; **Kunaev Vyacheslav Alexandrovich** - Director of the Department of Science and Innovation of the Karaganda Industrial University, Kazakhstan.

Executive Secretary

Soltan Aidana – Leading Specialist, Department of Science and Innovation, Non-Profit Joint-Stock Company "Karaganda Industrial University", Kazakhstan.

Nosov Vyacheslav Grigorievich – Specialist, Department of Science and Innovation, Non-Profit Joint-Stock Company "Karaganda Industrial University", Kazakhstan.

Сайт журнала: https://vestnik.tttu.edu.kz/index.php/kariu_vestnik

Электронная почта: bulletin@tttu.edu.kz

Контактный телефон: +7(721)3913901

Bulletin of the Karaganda State Industrial University
Owner: Non-profit Joint-Stock Company "Karaganda Industrial University"

Founded in 1991 - Renamed in 2001 and 2013
Certificate of Re-registration of the Periodical Print and Online Publication dated 08 May 2026.

Printing house name, address, and editorial office address:
Karaganda Industrial University Development Center, 30 Respubliki Ave.,
Temirtau, Karaganda Region, 101400

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Жаутиков Бахыт Ахатович – Председатель Правления-Ректор НАО «Карагандинский индустриальный университет», к.т.н., д.т.н., профессор энергетики.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Белов Николай Александрович – PhD, д.т.н., профессор, Директор Инжинирингового центра ИЛТМ, кафедра «Технология литейных процессов», Национальный исследовательский технологический университет «Московский институт стали и сплавов», Россия; **Ким Александр Сергеевич** – д.т.н., главный научный сотрудник лаборатории БОР Химико-металлургического института им. Ж. Абишева, Казахстан; **Павлов Александр Васильевич** – д.т.н., профессор кафедры «Металлургия стали и ферросплавов» Национального исследовательского технологического университета «Московский институт стали и сплавов», Россия; **Панин Евгений Александрович** – PhD, доцент кафедры «Обработка металлов давлением» НАО «Карагандинский индустриальный университет», Казахстан; **Riad Taha Al-Kasasbeh** – PhD, профессор Прикладного университета Al-Balqa (Al-Balqa' Applied University), г. Амман, Иордания; **Richard Fabik** – PhD, профессор кафедры «Обработка материалов» Технического университета, г. Острава, Чехия; **Syed Abdul Rahman Al-Haddad** – д.т.н., PhD, профессор факультета компьютерных и коммуникационных систем, Universiti Putra Malaysia (UPM), Малайзия; **Nur Nabihah Yusof** – PhD, профессор, Школа физики, Universiti Sains Malaysia, Pulau Pinang, Малайзия; **Abdeslam Hassani** – Профессор кафедры маркетинга и информационных систем, Школа бизнеса Университета Quebec at Trois-Rivieres, Канада; **Sri Rizki Putri Primandari** – профессор факультета инженерии Universitas Negeri Padang (UNP), доктор наук в области химической и технологической инженерии, Индонезия; **Didik Hariyanto** – профессор кафедры электротехнического образования, Universitas Negeri Yogyakarta (UNY), Индонезия; **Abdul Hafidz Bin Yusoff** – доцент факультета биоинженерии и технологий, Universiti Malaysia Kelantan, Малайзия; **Кенжалиев Олжас Багдаулетович** – PhD, Член Правления-Проректор по НРиМС НАО «Карагандинский индустриальный университет», Казахстан; **Мынжасар Есмұрат Аманғалиұлы** - Факультет металлургии и машиностроения, НАО «Карагандинский индустриальный университет», PhD, Казахстан; **Касымова Гулжайна Куралбаевна** – PhD, Руководитель отдела интеллектуальной собственности и международного сотрудничества АО «ИМиО», Алматы, Казахстан; **Christian S. Ugwuanyi** – кафедра естественнонаучного образования, University of Nigeria Факультет образования, University of the Free State, г. Блумфонтейн, Южно-Африканская Республика; **Кабиева Сауле Казжановна** – к.х.н., профессор кафедры химической технологии и экологии Карагандинского индустриального университета, г. Темиртау, Казахстан; **Кунаев Вячеслав Александрович** - Директор Департамента науки и инновации НАО «Карагандинский индустриальный университет», PhD, Казахстан.

Ответственный секретарь

Солтан Айдана – ведущий специалист Департамента науки и инноваций, НАО «Карагандинский индустриальный университет», Казахстан.

Носов Вячеслав Григорьевич – специалист Департамента науки и инноваций, НАО «Карагандинский индустриальный университет», Казахстан.

Сайт журнала: https://vestnik.tttu.edu.kz/index.php/kariu_vestnik

Электронная почта: bulletin@tttu.edu.kz

Контактный телефон: +7(721)3913901

Вестник Карагандинского государственного индустриального университета
Собственник: Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский индустриальный университет»

Основан в 1991 году - Переименован в 2001 г. и 2013 г.

Свидетельство о постановке на переучет периодического печатного издания, интернет издания: 08.05.2026

Наименование типографии, её адрес и адрес редакции:
ДЦТ Карагандинского индустриального университета, 101400, пр. Республики, 30,
г. Темиртау, Карагандинская обл.

МЕТАЛЛУРГИЯ, ТЕХНОЛОГИИ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/135>

THE EFFECT OF BLOWING ON THE OXIDATION OF METAL AND SLAG IN THE PRODUCTION OF LOW-CARBON OXYGEN-CONVERTER STEEL

**Kharvonen A.A., Mikhailov N.S., Romanov V. I.*

Karaganda Industrial University, Karaganda, Kazakhstan

** Correspondent's E-mail: a.kharvonen@ttu.edu.kz*

Author information:

Kharvonen A.A., Karaganda Industrial University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: a.kharvonen@ttu.edu.kz.

Mikhailov N.S., Karaganda Industrial University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: n.mikhailov@ttu.edu.kz.

Romanov V. I., Karaganda Industrial University, Karaganda, Kazakhstan

Abstract – The article discusses the results of a study on the effect of additional blowing on the oxidation of metal and slag during oxygen-converter production of low-carbon steel. The study was conducted by Burdonov B.A. and his co-authors at the Qarmet Metallurgical Plant in Temirtau, Karaganda Region. The article presents modern production data obtained at the same plant and provides a comparative analysis of these data with current trends in the field. It has been established that in modern conditions, the negative effect of overpressing retains its direction, but is significantly reduced in magnitude and partially compensated by means of secondary metallurgy.

Keywords – oxygen converter, additional blowing, metal oxidation, slag FeO, low-carbon steel, secondary metallurgy.

ТӨМЕН КӨМІРТЕКТІ ОТТЕГІ ТҮРЛЕНДІРГІШ БОЛАТ ӨНДІРІСІНДЕГІ МЕТАЛЛ МЕН ҚОЖДЫҢ ТОТЫҒУЫНА ҮРЛЕУДІҢ ӘСЕРІ

**Харвонен А.А., Михайлов Н.С., Романов В.И.*

Қарағанды индустриялық университеті, Қарағанды, Қазақстан

**Корреспондент E-mail: a.kharvonen@ttu.edu.kz*

Авторы туралы ақпарат:

Харвонен А. А., Қарағанды Индустриалдық Университеті, Қарағанды Қ., Қазақстан, e-mail: a.kharvonen@ttu.edu.kz.

Михайлов Н. С., Қарағанды Индустриалдық Университеті, Қарағанды Қ., Қазақстан, e-mail: n.mikhailov@ttu.edu.kz.

Романов В.И., Қарағанды Индустриалдық Университеті, Қарағанды, Қазақстан.

Аңдатпа – Мақалада төмен көміртекті болаттың оттегі-Конвертер өндірісіндегі металл мен қождың тотығуына Үрлеудің әсерін зерттеу нәтижелері қарастырылады. Салыстыру базасы ретінде Б.А. Бурдоновтың және Теміртау қ. "Qarmet" АҚ металлургиялық комбинатында орындалған бірлескен авторлардың жұмысы пайдаланылды, Қарағанды облысы, сол кәсіпорында алынған заманауи өндірістік деректер ұсынылды, олардың салыстырмалы талдауы жүргізілді, сондай-ақ осы саладағы өзекті үрдістермен. Қазіргі жағдайда Үрлеудің теріс әсері өз бағытын сақтайтыны анықталды, бірақ ол айтарлықтай төмендейді және ішінара қайталама металлургия құралдарымен өтеледі.

Түйін сөздер – оттегі түрлендіргіші, үрлеу, металл тотығуы, Қождың FeO, төмен көміртекті болат, қайталама металлургия.

ВЛИЯНИЕ ДОДУВОК НА ОКИСЛЕННОСТЬ МЕТАЛЛА И ШЛАКА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ КИСЛОРОДНО-КОНВЕРТЕРНОЙ СТАЛИ

**Харвонен А.А., Михайлов Н.С., Романов В.И.*

Карагандинский индустриальный университет, Караганда, Казахстан

** E-mail корреспондента: a.kharvonen@ttu.edu.kz*

Информация об авторах:

Харвонен А.А., Карагандинский индустриальный университет, Караганда, Казахстан, e-mail: a.kharvonen@tttu.edu.kz.

Михайлов Н.С., Карагандинский индустриальный университет, Караганда, Казахстан, e-mail: n.mikhailov@tttu.edu.kz.

Романов В.И., Карагандинский индустриальный университет, Караганда, Казахстан.

Аннотация – В статье рассмотрены результаты исследования влияния додувок на окисленность металла и шлака при кислородно-конвертерном производстве низкоуглеродистой стали. В качестве базы сравнения использована работа Бурдонова Б.А. и соавторов, выполненная на металлургическом комбинате АО «Qarmet» г.Темиртау, Карагандинская обл. Представлены современные производственные данные, полученные на том же предприятии, проведён их сопоставительный анализ, а также с актуальными тенденциями в данной области. Установлено, что в современных условиях отрицательный эффект додувок сохраняет своё направление, однако существенно снижается по величине и частично компенсируется средствами вторичной металлургии.

Ключевые слова – кислородный конвертер, додувки, окисленность металла, FeO шлака, низкоуглеродистая сталь, вторичная металлургия.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Проведено ретроспективное сопоставление результатов классического исследования додувок 1973 года (Бурдонов Б.А. и др.) с современными производственными данными АО «Qarmet» (4514 плавов без додувок и 334 плавки с додувками, октябрь 2025 – апрель 2026). Установлено, что при фиксированном конечном содержании углерода додувка по-прежнему смещает регрессионную зависимость FeO–C в сторону более высокой окисленности шлака, однако величина сдвига (0,7–0,9 п.п.) на порядок меньше, чем в 1973 году (рост FeO с 13,8 до 17,7%). Показано, что связь между содержанием кислорода и углерода при додувках становится менее устойчивой (R^2 снижается с 0,47 до 0,17), что указывает на возросшую вариабельность процесса, а не на однозначный рост средней окисленности металла. Выявлено, что в современных условиях додувка обеспечивает заметное снижение содержания фосфора (около 14%), что делает её технологически оправданной операцией при контролируемом окислительном режиме. Показано, что часть негативных последствий додувок (потери марганца, повышение FeO) компенсируется на стадии вторичной металлургии, что принципиально отличает современную практику конвертерного производства от условий 1973 года.

ВВЕДЕНИЕ

Додувки – повторные подачи кислорода в конвертерную ванну после первоначальной остановки продувки – являются распространённой технологической операцией при производстве низкоуглеродистой стали. Они применяются для корректировки температуры, состава металла или удаления примесей, прежде

всего фосфора и серы, когда плавка не достигает целевых параметров в конце основной продувки.

Влияние додувок на качество конвертерной стали остаётся предметом производственного интереса, поскольку повторное воздействие кислородной струи потенциально изменяет окислительный баланс ванны, угар раскислителей и чистоту стали по неметаллическим включениям. В 1973 году Бурдонов Б.А., Гахов Н.Ф., Лобачев В.С. и соавторы опубликовали результаты систематического исследования этой проблемы применительно к условиям Карагандинского металлургического комбината [1, 5, 8]. Работа установила чёткую отрицательную связь между проведением додувок и качеством кислородно-конвертерной стали.

Настоящая статья преследует цель провести ретроспективный анализ результатов того времени, сопоставить их с современными производственными данными, полученными на том же предприятии, и оценить, насколько изменился характер влияния додувок за истекший период с учётом развития современных технологий конвертерного производства и вторичной металлургии.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Опыты проводились на 250-тонных конвертерах, работающих с отводом газов без дожигания. Металл продували через четырёхсopловую фурму при расходе кислорода 750–850 м³/мин. Масса металлошихты составляла 300 т, в том числе 65–75 т лома. Влияние додувок изучалось на 28 плавках стали 10сп с раскислением силикомарганцем, ферросилицием и алюминием [1, 3, 9].

Регрессионный анализ показал, что с уменьшением содержания углерода в конце продувки нарастает концентрация кислорода в

металле, причём после второй и третьей додувки эта зависимость смещается в сторону более высокой окисленности. Авторы [1, 6] объяснили данный эффект ослаблением перемешивания ванны при сниженном расходе кислорода в режиме додувки (600–800 м³/мин) и повышенном положении фурмы, вследствие чего поступающий кислород расходуется преимущественно на окисление железа, а не на обессеривание и уменьшение концентрации углерода.

Сопоставительные данные по 14 плавкам без додувок и 14 плавкам с додувками при одинаковом конечном содержании углерода ($C = 0,08\%$) представлены в Таблице 1.

«Угар Mn» и «Угар Si» – относительные потери от исходного содержания, %.

Таблица 1 – Средний состав металла и шлака перед выпуском (данные 1973 года [1])

Режим	C, %	Mn, %	S, %	[O], %	FeO шл, %	Угар Mn, %	Угар Si, %
Без додувок	0,08	0,154	0,031	0,044	13,8	9,6	25,2
С додувками	0,08	0,106	0,03	0,0567	17,7	13,6	31,0

Содержание кислорода в металле при додувках возросло с 0,0440 до 0,0567%, FeO в шлаке – с 13,8 до 17,7%; угар марганца увеличился с 9,6 до 13,6%, угар кремния при осаждающем раскислении – с 25,2 до 31,0%. Балл загрязнённости силикатными и силикосульфидными включениями составил в среднем 3,81 против 2,79 на плавках без додувок. Доля образцов, выдержавших испытание на холодный изгиб, снизилась с 94% (без додувок) до 85,3% (с додувками) [1, 7].

Регрессионный анализ по FeO показал следующие уравнения (Рис. 1):

– без додувки: $y = -60,076x + 24,247$, $R^2 = 0,1047$;

– с додувкой: $y = -57,06x + 24,808$, $R^2 = 0,1037$,

где y – содержание FeO в шлаке, %; x – конечное содержание углерода в металле, %.

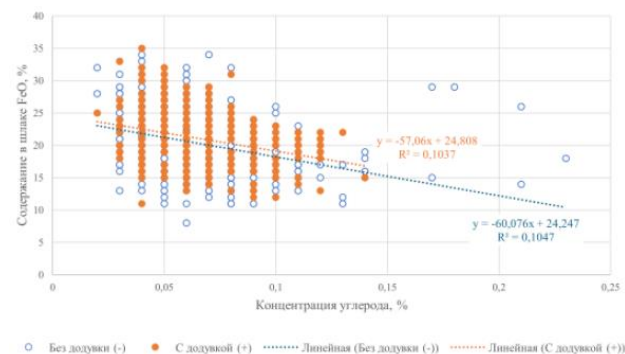


Рис. 1 – Влияние додувки на содержание FeO в шлаке в зависимости от содержания углерода

Обе зависимости отрицательные: с ростом концентрации углерода FeO в шлаке снижается, что полностью согласуется с физикохимией процесса. При сопоставлении на одинаковом уровне углерода (0,04–0,10%) линия «с додувкой» расположена выше линии «без додувки» – разница составляет порядка 0,7–0,9 п.п. по FeO. Следовательно, додувка сохраняет тенденцию к повышению окисленности шлака при одинаковом конечном содержании углерода, хотя эффект заметно слабее, чем в 1973 году. Низкие значения $R^2 \approx 0,10$ для обеих групп указывают на то, что углерод объясняет лишь около 10% вариации FeO, тогда как определяющую роль играют сопутствующие технологические факторы.

Для зависимости «кислород–углерод» получены уравнения (Рис. 2):

– с додувкой: $y = -3030,9x + 800,44$, $R^2 = 0,1666$;

– без додувки: $y = -5376,5x + 948,59$, $R^2 = 0,4702$,

где y – содержание растворённого кислорода, ppm; x – содержание углерода, %.

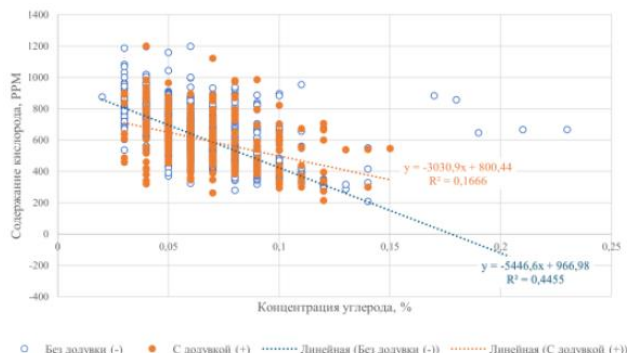


Рис. 2 – Влияние додувки на содержание растворённого кислорода в зависимости от содержания углерода

Без додувки связь C–O достаточно устойчива ($R^2 = 0,47$), тогда как при додувке она существенно размывается ($R^2 = 0,17$). Это означает, что додувка не столько однозначно повышает средний кислород, сколько делает его поведение менее предсказуемым. Линии пересекаются приблизительно при $C \approx 0,063\%$, что подтверждает немонотонный характер влияния додувки на содержание кислорода в зависимости от уровня конечного углерода.

Средние значения технологических показателей перед выпуском представлены в Таблице 2. В отличие от Таблицы 1, где приведены относительные угары Mn и Si (%), столбцы [Mn]выпуск и [Si]выпуск представляют

абсолютное содержание элементов в металле перед выпуском (%). Прямое сравнение [O] между группами некорректно без поправки на различие конечного углерода (0,060% против 0,069%); корректная оценка дана регрессионным методом выше.

Таблица 2 – Средний состав металла и шлака перед выпуском (современные данные)

Режим	C, %	Mn, %	S, %	[O], ppm	FeO шл., %	[Mn] выпу ск, %	[Si] выпу ск, %
Без додувок	0,060	0,061	0,018	635	20,6	0,432	0,137
С додувками	0,069	0,057	0,0187	596	20,63	0,435	0,133

Средний конечный углерод в группе с додувками выше (+15% относительно), что само по себе снижает равновесный кислород. Содержание Mn ниже при додувках (–6,6%), что согласуется с более высоким угаром марганца. Содержание FeO практически не изменилось (+0,03 п.п.).

Анализ данных по фосфору показал, что додувка способствует его более полному удалению: содержание P на выпуске при додувках ниже примерно на 14%, что является технологически значимым положительным эффектом.

На последующих стадиях обработки (вторичная металлургия) часть различий, зафиксированных на выпуске, компенсируется: у плавов с додувками наблюдается более низкое содержание C и S и более высокое содержание Mn по сравнению с показателями на выпуске. Это свидетельствует о том, что современная схема вторичной обработки металла на АПК способна нивелировать часть негативных последствий додувок.

К общим закономерностям относятся следующие. Во-первых, в обоих случаях додувка при сопоставлении на одинаковом уровне конечного углерода сопровождается более высокой окисленностью шлака. Во-вторых, в обоих случаях наблюдается негативное влияние на содержание марганца. В-третьих, додувка в обеих ситуациях предстаёт как операция, не являющаяся «бесплатной» по металлургическому балансу: улучшение одних показателей достигается за счёт ухудшения других.

Вместе с тем различия весьма существенны. Раньше додувка давала резкий рост FeO в шлаке (с 13,8 до 17,7%), сильный рост кислорода в металле (с 0,0440 до 0,0567%) и значительный совместный угар Mn и Si. В современных данных средний FeO практически не изменился (+0,03 п.п.), а среднее содержание кислорода оказалось даже ниже в

группе с додувками. Снижение выраженности негативного эффекта связано с совокупностью факторов: совершенствованием систем управления конвертерным процессом, возможностью точнее задавать режим додувки (расход кислорода, положение фурмы над условным «зеркало» металла), а также принципиальным изменением роли последующей обработки металла.

Необходимо также отметить методическое различие двух работ. В исследовании [1, 3] обе сравниваемые группы имели одинаковый конечный углерод (C = 0,08%), что обеспечивало «чистое» выделение эффекта додувки. В современных данных группа с додувками имеет в среднем более высокий конечный углерод (0,069 против 0,060%), что затрудняет прямое сравнение средних значений. Регрессионный подход – сопоставление при фиксированном C – даёт более корректную картину и подтверждает сохранение направления эффекта (додувка → более высокий FeO), но с существенно меньшей величиной.

Тенденции, выявленные в настоящей работе, согласуются с результатами актуальных исследований. Lv Changhai et al. [2, 10] показали, что выход за пределы критического диапазона C является механизмом, объясняющим наблюдаемый сдвиг регрессионных линий FeO–C, что напрямую подтверждает наш вывод о систематическом смещении зависимости при додувках. He X. et al. [3, 5, 10] обосновали, что непредсказуемость поведения кислорода при повторных продувках – отражённая в снижении R^2 с 0,47 до 0,17 – является ключевым аргументом в пользу их минимизации средствами автоматического управления. You D. et al. [4, 7, 8] показали, что даже умеренный рост окисленности шлака при додувках (+0,7–0,9 п.п. при фиксированном C) усиливает нагрузку на вторичную металлургию через межфазные реакции в ковше, что соответствует наблюдаемой необходимости дополнительной коррекции состава металла после выпуска плавов с додувками.

ВЫВОДЫ

1. Раннее исследование [1, 6] зафиксировало выраженное отрицательное влияние додувок: рост окисленности металла и шлака, увеличение угара раскислителей, повышение загрязнённости стали оксидными неметаллическими включениями и снижение выхода годного листа при испытании на изгиб.

2. Современные производственные данные АО «Qarmet» (4 514 плавов без додувок и 334

плавки с додувками, октябрь 2025 – апрель 2026) подтверждают сохранение направления эффекта: при фиксированном уровне конечного углерода додувка систематически смещает зависимость FeO–C в сторону более высокой окисленности шлака. Вместе с тем величина этого сдвига существенно уменьшилась.

3. По зависимости кислород–углерод современные данные не обнаруживают однозначного роста среднего содержания кислорода при додувках. Додувка делает связь C–O менее устойчивой (R^2 снижается с 0,47 до 0,17), что указывает на возросшую вариабельность процесса и большую чувствительность к сопутствующим технологическим условиям.

4. В современных условиях додувка обеспечивает значимое снижение содержания фосфора (около 14%), что является её технологически обоснованным применением. Негативные последствия – умеренный рост FeO в шлаке и потеря марганца – частично компенсируются на стадии вторичной металлургии, что принципиально отличает современную практику.

5. Додувку следует рассматривать как допустимую, но металлургически не нейтральную корректирующую операцию, требующую контроля окислительного режима и последующей вторичной обработки металла. Перспективным направлением является минимизация числа повторных продувок за счёт совершенствования систем управления конвертерным процессом [2, 3, 4].

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

«Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов».

ВКЛАД АВТОРОВ

Авторский вклад (таксономия CRediT): Харвонен А. А.: сбор и курирование производственных данных, их визуализацию, проведение исследования и анализ полученных результатов. Михайлов Н. С.: принимал участие в обзоре научной литературы и анализе данных. Романов В. И.: научное руководство работой, рецензирование и редактирование статьи. Все авторы одобрили финальную версию работы.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность сотрудникам АО «Qarmet» за предоставление производственных данных и содействие в проведении научного исследования.

АВТОРСКОЕ ПРАВО

Авторское право © 2026 принадлежит автору(ам). Данная статья распространяется на условиях открытого доступа в соответствии с лицензией Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0). Лицензия разрешает свободное использование, распространение и воспроизведение в любой форме при условии обязательного указания авторства и сохранения той же лицензии для производных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] B. A. Burdonov, N. F. Gakhov, V. S. Lobachev i dr., «Vliyanie doduvok na kachestvo nizkouglerodistoy kislorodno-konverternoy stali» [Influence of additional blowing on the quality of low-carbon oxygen-converter steel], *Stal'*, No. 6, pp. 491–493, 1973.
- [2] Lv Changhai, Li Jing, Yan Wei, Zhang Hongjun, «Optimizatsiya konechnogo kontrolya dlya nizkouglerodistoy i nizkofosforistoy stali, proizvodimoy konverternym sposobom s odnim shlakom» [Optimization of endpoint control for low carbon and phosphorus steel produced by converter single slag process], *ISIJ International*, Vol. 62, No. 9, pp. 1845–1851, 2022. doi: 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2022-102
- [3] Kh. Khe i dr., «Prognozirovanie ob"ema produvki kislorodom v kislorodno-konvertornom protsesse na osnove neyronnoy seti obratnogo rasprostraneniya oshibki i inkrementnogo obucheniya» [Prediction of oxygen-blowing volume in BOF steelmaking process based on BP neural network and incremental learning], *High Temperature Materials and Processes*, Vol. 41, 2022.
- [4] D. Yu. K. Bernkhard, P. Mayer i dr., «Modelirovanie protsessa vypuska plavki iz kislorodnogo konvertera: reaktsii v kovshe» [Modeling of the BOF tapping process: the reactions in the ladle], *Metallurgical and Materials Transactions B*, Vol. 52, pp. 1854–1865, 2021. doi: 10.1007/s11663-021-02153-2
- [5] Ch. G. Chzhou, Ts. G. Chen', I. Tszi, L. Ts. Ay, Sh. Kh. Van, Ts. Ya. Chen', T. S. Yuan', «Vliyanie sil'nookislitel'nogo defosforiruyushchego shlaka konvertera na protsess defosfor-atsii zhidkoy stali» [Effect of highly oxidizing converter dephosphorization slag on dephosphorization behaviour of molten steel], *Ironmaking & Steelmaking*, Vol. 50, No. 8, pp. 958–968, 2023. doi: 10.1080/03019233.2023.2168344
- [6] Yu. Go, D. Khe, S. Li, K. Feng, «Model' prognozirovaniya soderzhaniya ugleroda v rezhime real'nogo vremeni dlya stadii doduvki konvertera na osnove fizicheski informirovannoy seti PI-LSTM» [Real-Time Carbon Content

Prediction Model for the Reblowing Stage of Converter Based on PI-LSTM], *Materials*, Vol. 18, No. 19, Art. no. 4631, 2025. doi: 10.3390/ma18194631

[7] I. Kan, Yu.-G. Tan', Ts.-S. Chzhao, K. Yan, V.-V. Lyu, Sh. Yue, «Korreksiya konechnogo sodержaniya ugleroda v kislorodno-konvertornom proizvodstve na osnove fil'tra Kalmana i modeli vyvoda po pretsedentam (CBR)» [End-point carbon content correction in converter steelmaking based on the Kalman filter and CBR model], *Ironmaking & Steelmaking: Processes, Products and Applications*, 2024. doi: 10.1177/03019233241303546

[8] Ch. Van, Ts. Lyu, Kh. Lyu, Sh. Vey, «Obzor metodov prognozirovaniya konechnogo sodержaniya ugleroda v kislorodno-konvertornom protsesse» [A review of end-point carbon prediction for BOF steelmaking process], *High Temperature Materials and Processes*, Vol. 39, No. 1, pp. 653–662, 2020. doi: 10.1515/htmp-2020-0098

[9] R. Kh. Chzhhan, Ts. Yan, Kh. Sun', V. K. Yan, «Prognozirovanie koeffitsienta ispol'zovaniya izvesti pri defosforatsii v kislorodno-konvertornom proizvodstve na osnove onlayn-posledovatel'noy mashiny ekstremal'nogo obucheniya s mekhanizmom zabyvaniya» [Prediction of lime utilization ratio of dephosphorization in BOF steelmaking based on online sequential extreme learning machine with forgetting mechanism], *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, Vol. 31, No. 3, p. 508, 2024. doi: 10.1007/s12613-023-2732-4

[10] G. Syuy, M. Li, Ts.-V. Syuy, Ch.-Kh. Tszya, Ts.-F. Chen', «Tekhnologiya upravleniya konechnym sodержaniem ugleroda v kislorodno-konvertornom proizvodstve na osnove funktsional'noy modeli tsifrovogo dvoynika» [Control technology of end-point carbon in converter steelmaking based on functional digital twin model], *Journal of University of Science and Technology Beijing (Chinese Journal of Engineering)*, Vol. 41, No. 4, pp. 521–527, 2019. doi: 10.13374/j.issn2095-9389.2019.04.013

REFERENCES

[1] B. A. Burdonov, N. F. Gakhov, V. S. Lobachev, et al., "Vliyanie doduvok na kachestvo nizkouglerodistoy kislorodno-konvertornoy stali" [Influence of additional blowing on the quality of low-carbon oxygen-converter steel], *Stal' [Steel]*, no. 6, pp. 491–493, 1973.

[2] Lv Changhai, Li Jing, Yan Wei, and Zhang Hongjun, "Optimization of endpoint control for low carbon and phosphorus steel produced by converter single slag process," *ISIJ International*, vol. 62, no. 9, pp. 1845–1851, 2022. doi: 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2022-102

[3] X. He et al., "Prediction of oxygen-blowing volume in BOF steelmaking process based on BP neural network and incremental learning," *High Temperature Materials and Processes*, vol. 41, 2022.

[4] D. You, C. Bernhard, P. Mayer, et al., "Modeling of the BOF tapping process: the reactions in the ladle," *Metallurgical and Materials Transactions B*, vol. 52, pp. 1854–1865, 2021. doi: 10.1007/s11663-021-02153-2

[5] C. G. Zhou, Q. G. Chen, Y. Ji, L. Q. Ai, S. H. Wang, Q. Y. Chen, and T. X. Yuan, "Effect of highly oxidizing converter dephosphorization slag on dephosphorization behaviour of molten steel," *Ironmaking & Steelmaking*, vol. 50, no. 8, pp. 958–968, 2023. doi: 10.1080/03019233.2023.2168344

[6] Y. Guo, D. He, X. Li, and K. Feng, "Real-Time Carbon Content Prediction Model for the Reblowing Stage of Converter Based on PI-LSTM," *Materials*, vol. 18, no. 19, Art. no. 4631, 2025. doi: 10.3390/ma18194631

[7] Y. Kang, Y.-G. Tan, J.-X. Zhao, K. Yang, W.-W. Liu, and S. Yue, "End-point carbon content correction in converter steelmaking based on the Kalman filter and CBR model," *Ironmaking & Steelmaking: Processes, Products and Applications*, 2024. doi: 10.1177/03019233241303546

[8] Z. Wang, Q. Liu, H. Liu, and S. Wei, "A review of end-point carbon prediction for BOF steelmaking process," *High Temperature Materials and Processes*, vol. 39, no. 1, pp. 653–662, 2020. doi: 10.1515/htmp-2020-0098

[9] R. H. Zhang, J. Yang, H. Sun, and W. K. Yang, "Prediction of lime utilization ratio of dephosphorization in BOF steelmaking based on online sequential extreme learning machine with forgetting mechanism," *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, vol. 31, no. 3, p. 508, 2024. doi: 10.1007/s12613-023-2732-4

[10] G. Xu, M. Li, J.-W. Xu, C.-H. Jia, and Z.-F. Chen, "Control technology of end-point carbon in converter steelmaking based on functional digital twin model," *Journal of University of Science and Technology Beijing (Chinese Journal of Engineering)*, vol. 41, no. 4, pp. 521–527, 2019. doi: 10.13374/j.issn2095-9389.2019.04.013

МАШИНА ЖАСАУ, ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ МАШИНАЛАР ЖӘНЕ КӨЛІК, ҚҰРЫЛЫС

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/136>

INTEGRATED REFRIGERATION SYSTEM USING RENEWABLE ENERGY SOURCES

**Zharylkapova Zh.A., Alimkeshova A.H.*

Almaty Technological University JSC, Almaty, Kazakhstan

** Correspondent's E-mail: zhansaya_06z@mail.ru*

Author information:

Zharylkapova Zh. A., JSC "Almaty Technological University", 050061 Tastak-1 m-n , Furkat 348/4, Almaty, Kazakhstan, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-5908-3427>, e-mail: zhansaya_06z@mail.ru

Alimkeshova A. H., JSC "Almaty Technological University", 050061 Tastak-1 m-n , Furkat 348/4, Almaty, Kazakhstan, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-5908-3427>, e-mail: zhansaya_06z@mail.ru

Abstract – This article discusses the theoretical foundations and practical application possibilities of integrated refrigeration systems using renewable energy sources. In the course of the study, the structure, principles of operation and energy efficiency of hybrid systems operating with the combination of solar and wind energy were analyzed. To assess the efficiency of the system, energy consumption indicators and the beneficial effect coefficient (COP) were used. The results of the study showed that through the use of renewable energy sources, energy consumption can be significantly reduced compared to traditional refrigeration systems. In addition, the ability of the presented systems to work autonomously ensures their effective use in remote and non-connected areas of the power grid. The scientific novelty of the work is to propose approaches to improving the stability and energy efficiency of the refrigeration system through the integration of renewable energy sources. The results of the study are aimed at the development of energy-saving and environmentally safe technologies.

Keywords – renewable energy, refrigeration system, solar energy, energy efficiency, integrated system, hybrid system, beneficial effect factor (COP).

ЖАҢАРТЫЛҒАН ЭНЕРГИЯ КӨЗДЕРІН ПАЙДАЛАНАТЫН ИНТЕГРАЦИЯЛАНҒАН ТОҢАЗЫТҚЫШ ЖҮЙЕСІ

^{1,2} Жарылқапова Ж.Ә., Алимкешова А.Х.*

Алматы технологиялық университеті АҚ, Алматы, Қазақстан

**Корреспондент E-mail: zhansaya_06z@mail.ru*

Авторлар туралы ақпарат:

Жарылқапова Ж. Ә., «Алматы технологиялық университеті» АҚ, 050061 Тастақ-1 м-н , Фуркат 348/4, Алматы, Қазақстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-5908-3427>, e-mail: zhansaya_06z@mail.ru

Алимкешова А.Х., «Алматы технологиялық университеті» АҚ, 050061 Тастақ-1 м-н , Фуркат 348/4, Алматы, Қазақстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-5908-3427>, e-mail: zhansaya_06z@mail.ru

Аңдатпа – Бұл мақалада жаңартылатын энергия көздерін пайдаланатын интеграцияланған тоңазытқыш жүйелерінің теориялық негіздері мен практикалық қолдану мүмкіндіктері қарастырылады. Зерттеу барысында күн және жел энергиясын біріктіре отырып жұмыс істейтін гибриді жүйелердің құрылымы, жұмыс істеу принциптері және энергетикалық тиімділігі талданды. Жүйенің тиімділігін бағалау үшін энергия тұтыну көрсеткіштері мен пайдалы әсер коэффициенті (COP) қолданылды. Зерттеу нәтижелері жаңартылатын энергия көздерін пайдалану арқылы дәстүрлі тоңазытқыш жүйелерімен салыстырғанда энергия шығынын айтарлықтай төмендетуге болатынын көрсетті. Сонымен қатар, ұсынылған жүйелердің автономды жұмыс істеу қабілеті олардың қашықтағы және электр желісіне қосылмаған аймақтарда тиімді қолданылуын қамтамасыз етеді. Жұмыстың ғылыми жаңалығы – жаңартылатын энергия көздерін интеграциялау арқылы тоңазытқыш жүйесінің тұрақтылығы мен энергия тиімділігін арттыру тәсілдерін ұсыну болып табылады. Зерттеу нәтижелері энергия үнемдеу және экологиялық қауіпсіз технологияларды дамытуға бағытталған.

Түйін сөздер – жаңартылатын энергия, тоңазытқыш жүйе, күн энергиясы, энергия тиімділігі, интеграцияланған жүйе, гибриді жүйе, пайдалы әсер коэффициенті (COP)

ИНТЕГРИРОВАННАЯ ХОЛОДИЛЬНАЯ СИСТЕМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

1,2 Жарылқапова Ж.Ә., Алимкешова А.Х.*

Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан

**E-mail корреспондента: zhansaya_06z@mail.ru*

Информация об авторах:

Жарылқапова Ж. Ә., АО "Алматинский технологический университет", 050061 Тастак-1 м-н, Фуркат 348/4, Алматы, Казахстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-5908-3427>, e-mail: zhansaya_06z@mail.ru

Алимкешова А.Х., АО "Алматинский технологический университет", 050061 Тастак-1 м-н, Фуркат 348/4, Алматы, Казахстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-5908-3427>, e-mail: zhansaya_06z@mail.ru

Аннотация – В этой статье рассматриваются теоретические основы и возможности практического применения интегрированных холодильных систем, использующих возобновляемые источники энергии. В ходе исследования была проанализирована структура, принципы работы и энергетическая эффективность гибридных систем, работающих в сочетании солнечной и ветровой энергии. Для оценки эффективности системы использовались показатели энергопотребления и коэффициент полезного действия (COP). Результаты исследования показали, что за счет использования возобновляемых источников энергии можно значительно снизить потребление энергии по сравнению с традиционными холодильными системами. Кроме того, способность предлагаемых систем работать автономно обеспечивает их эффективное использование в удаленных и не подключенных к электросети регионах. Научная новизна работы заключается в предоставлении подходов к повышению устойчивости и энергоэффективности холодильной системы за счет интеграции возобновляемых источников энергии. Результаты исследования направлены на развитие энергосберегающих и экологически безопасных технологий..

Ключевые слова – возобновляемая энергия, холодильная система, солнечная энергия, энергоэффективность, интегрированная система, гибридная система, коэффициент полезного действия (COP)

НЕГІЗГІ ЕРЕЖЕЛЕР

Зерттеу барысында күн және жел энергиясын біріктірген гибриді тоңазытқыш жүйесінің дәстүрлі жүйемен салыстырғанда энергия тұтынуды 40–50%-ға дейін азайтатыны анықталды. Ұсынылған гибриді жүйесінің пайдалы әсер коэффициенті (COP) 3,5 мәніне жетіп, дәстүрлі компрессорлық жүйесінің көрсеткішінен (COP = 2,0) едәуір жоғары болды. Тек күн энергиясын пайдаланатын жүйесінің энергия шығыны дәстүрлі жүйемен салыстырғанда 60%-ды құрады, ал COP көрсеткіші 3,0-ге дейін өсті. Интеграцияланған жүйелердің автономды жұмыс істеу қабілеті оларды электр желісіне қосылмаған алыс өңірлерде де тиімді қолдануға мүмкіндік беретіні көрсетілді. Алынған нәтижелер жаңартылатын энергия көздерін тоңазытқыш жүйелеріне кіріктіру энергия үнемдеу мен экологиялық қауіпсіздікті бір мезгілде қамтамасыз ете алатынын растайды.

КІРІСПЕ

XXI ғасырда энергия ресурстарының шектеулігі және экологиялық мәселелер

жаңартылатын энергия көздерін қолдануды талап етеді. Тоңазытқыш жүйелері энергияны көп тұтынатын құрылғылардың бірі болып табылады. Қазіргі таңда әлемде энергия ресурстарының сарқылуы және қоршаған ортаның ластануы энергетика саласында жаңа шешімдерді талап етуде. Дәстүрлі энергия көздеріне тәуелділік парниктік газдардың бөлінуін арттырып, климаттың өзгеруіне әкеліп соқтыруда. Осыған байланысты жаңартылатын энергия көздерін кеңінен енгізу – қазіргі заманның өзекті мәселелерінің бірі болып табылады. Тоңазытқыш және кондиционерлеу жүйелері тұрмыстық және өндірістік секторларда кеңінен қолданылатын, энергияны көп тұтынатын құрылғылардың қатарына жатады. Олардың энергия тұтынуын азайту және тиімділігін арттыру энергетикалық тұрақтылықты қамтамасыз етудің маңызды бағыты болып табылады. Соңғы жылдары күн, жел және басқа да жаңартылатын энергия көздерін пайдалану арқылы жұмыс істейтін тоңазытқыш жүйелеріне қызығушылық артып келеді. Әсіресе, интеграцияланған жүйелер – бірнеше энергия

көздерін біріктіру арқылы жұмыс істейтін кешенді шешімдер – жоғары сенімділігімен және тұрақтылығымен ерекшеленеді. Мұндай жүйелер энергия көздерінің тұрақсыздығын азайтып, үздіксіз жұмыс істеуді қамтамасыз етеді [10, 12].

Зерттеудің мақсаты – жаңартылатын энергия көздерін пайдаланатын интеграцияланған тоңазытқыш жүйелерінің тиімділігін талдау, олардың құрылымдық ерекшеліктерін анықтау және қолдану мүмкіндіктерін бағалау.

Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылды:

1. жаңартылатын энергия көздерінің түрлерін талдау;

2. тоңазытқыш жүйелерінің жұмыс принциптерін зерттеу;

3. интеграцияланған жүйелердің тиімділігін бағалау;

4. энергия үнемдеу мүмкіндіктерін анықтау.

Бұл зерттеу жұмысы жаңартылатын энергия көздерін тиімді пайдалану арқылы тоңазытқыш жүйелерінің энергетикалық және экологиялық көрсеткіштерін жақсартуға бағытталған.

ӘДЕБИЕТ ШОЛУЫ

Жаңартылатын энергия көздерін пайдаланатын тоңазытқыш жүйелері соңғы онжылдықта энергетика және жылу техника салаларындағы маңызды зерттеу бағыттарының біріне айналды. Өлемдік тәжірибеде салқындату жүйелері электр энергиясын ең көп тұтынатын жүйелердің бірі болып табылады. Халықаралық энергетикалық агенттіктің мәліметтері бойынша, ғимараттардағы салқындату жүйелері жалпы электр энергиясының шамамен 10–15%-ын тұтынады, ал кейбір ыстық климаттық аймақтарда бұл көрсеткіш 20%-ға дейін жетеді [1].

Осыған байланысты жаңартылатын энергия көздерін пайдалану арқылы жұмыс істейтін тоңазытқыш жүйелерін дамыту маңызды болып отыр. Күн энергиясын пайдаланатын жүйелердің ішінде Фотоэлектрлік эффект негізіндегі фотоэлектрлік (PV) жүйелер кеңінен таралған. Мұндай жүйелерде күн панельдері арқылы өндірілген электр энергиясы компрессорлық тоңазытқыштарды тікелей немесе аккумулятор арқылы қоректендіреді. Зерттеулер көрсеткендей, PV-жүйелерді қолдану электр энергиясын тұтынуды 30–60% дейін төмендетуге мүмкіндік береді [2]. Сонымен қатар, жылу энергиясын пайдаланатын Абсорбциялық тоңазытқыш циклі кеңінен зерттелген. Абсорбциялық жүйелерде салқындату процесі компрессорсыз жүзеге

асырылады және жылу көзі ретінде күн коллекторлары қолданылады. Бұл жүйелердің негізгі артықшылығы – электр энергиясына тәуелділіктің төмендігі. Алайда олардың пайдалы әсер коэффициенті (COP) салыстырмалы түрде төмен болып келеді (әдетте 0.6–1.2 аралығында) [3, 8, 9].

Тағы бір перспективалы бағыт – адсорбциялық салқындату технологиялары. Бұл жүйелер қатты сорбенттерді қолдану арқылы жұмыс істейді және төмен температуралы жылу көздерімен тиімді жұмыс істей алады. Зерттеулер көрсеткендей, адсорбциялық жүйелердің COP мәні 0.3–0.8 аралығында болады, бірақ олардың сенімділігі жоғары және экологиялық қауіпсіз [4, 8 11].

Термоэлектрлік салқындату жүйелері де ғылыми зерттеулерде қарастырылуда. Олар Пельтье эффектiсi негiзiнде жұмыс iстейдi. Бұл жүйелердің басты артықшылықтары – қозғалмалы бөлшектердің болмауы, шу деңгейінің төмендігі және ұзақ қызмет ету мерзімі. Дегенмен, олардың энергия тиімділігі төмен ($COP \approx 0.3-0.7$), сондықтан олар көбінесе шағын көлемді жүйелерде қолданылады [5, 8, 11]. Соңғы жылдары интеграцияланған немесе гибриді жүйелерге ерекше көңіл бөлінуде. Мұндай жүйелерде күн энергиясы жел энергиясымен немесе дәстүрлі электр желісімен біріктіріледі. Бұл тәсіл жаңартылатын энергия көздерінің тұрақсыздығын (интермитенттілігін) төмендетіп, жүйенің сенімділігін арттырады. Зерттеулер көрсеткендей, гибриді жүйелерде энергиямен қамтамасыз ету тұрақтылығы 20–30% жоғары болады [6].

Энергия сақтау технологиялары да маңызды рөл атқарады. Аккумуляторлық батареялар және жылу сақтау жүйелері күн энергиясының тәуелсіздік өзгерістерін теңестіруге мүмкіндік береді. IRENA (2021) деректеріне сәйкес, энергия сақтау жүйелерін қолдану жалпы жүйенің тиімділігін 15–25% арттыруға мүмкіндік береді.

Термодинамикалық тұрғыдан жүйенің тиімділігі Пайдалы әсер коэффициенті (COP) арқылы бағаланады. Дәстүрлі компрессорлық жүйелерде COP мәні 2.0–4.0 аралығында болса, жаңартылатын энергияға негізделген жүйелерде бұл көрсеткіш жүйе түріне байланысты өзгеріп отырады.

Қазіргі ғылыми зерттеулердің негізгі бағыттары мыналарды қамтиды:

1. гибриді жүйелердің тиімділігін арттыру;
2. энергия сақтау технологияларын жетілдіру;
3. экологиялық таза салқындатқыш агенттерді қолдану;

4 интеллектуалды басқару жүйелерін енгізу.

Осылайша, жүргізілген әдеби шолу жаңартылатын энергия көздерін пайдаланатын интеграцияланған тоңазытқыш жүйелері энергия тиімділігі мен экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз етудің перспективалы бағыты екенін дәлелдейді. Сонымен қатар, бұл бағыттағы зерттеулер әлі де дамуды қажет етеді, әсіресе жүйелердің тиімділігін арттыру және олардың экономикалық қолжетімділігін қамтамасыз ету мәселелерінде.

МАТЕРИАЛДАР МЕН ӘДІСТЕР

Зерттеу жаңартылатын энергия көздерін пайдаланатын интеграцияланған тоңазытқыш жүйесінің теориялық моделін құру және оның энергетикалық көрсеткіштерін дәстүрлі жүйелермен салыстырмалы түрде талдау негізінде жүргізілді. Жұмыс барысында әдеби деректер, техникалық сипаттамалар және есептеу әдістері қолданылды, бұл алынған нәтижелерді басқа зерттеушілердің қайталап тексеруіне мүмкіндік береді.

Бұл зерттеу адамдардың немесе жануарлардың қатысуын талап етпейді, сондықтан этикалық комитеттің мақұлдауы және хабарланған келісім алу қажет болмады. Жұмыс толығымен техникалық-теориялық сипатта болғандықтан, зерттеу барысында жеке немесе жеке анықталатын деректер пайдаланылмады.

Зерттеу объектісі ретінде күн панельдерінен және жел генераторынан тұратын гибриді энергия көзімен жабдықталған компрессорлық тоңазытқыш қондырғысы алынды. Жүйенің негізгі құрамдас бөліктеріне фотоэлектрлік модульдер, шағын қуатты жел турбинасы, аккумуляторлық батарея блогы, қуатты реттеуші контроллер және тоңазытқыш компрессоры кіреді. Салыстыру мақсатында үш нұсқа қарастырылды: дәстүрлі (желіден коректенетін) жүйе, тек күн энергиясымен жұмыс істейтін жүйе және гибриді (күн+жел) жүйе.

Жүйелердің энергетикалық тиімділігін бағалау үшін пайдалы әсер коэффициенті (COP) көрсеткіші қолданылды, ол тоңазытқыш қондырғысының алатын салқындату қуатының жұмсалған электр энергиясына қатынасы ретінде есептелді:

$$COP = Q_{\text{салқын}} / W_{\text{электр}}$$

мұндағы $Q_{\text{салқын}}$ – жүйенің салқындату қуаты (Вт), $W_{\text{электр}}$ – компрессордың тұтынған

электр қуаты (Вт). Әрбір жүйе үшін тәуліктік энергия тұтыну көрсеткіштері дәстүрлі жүйенің мәнін 100% деп алып, салыстырмалы пайызбен есептелді.

Есептеулер тұрақты сыртқы температура жағдайында (орташа тәуліктік көрсеткіштер бойынша) жүргізілді, күн радиациясы мен жел жылдамдығының орташа статистикалық мәндері негізге алынды. Күн панельдерінің шығысы стандартты сынақ жағдайларына (STC) сәйкес, ал жел турбинасының қуаты типтік жел жылдамдығы диапазонына сәйкес бағаланды. Алынған энергетикалық көрсеткіштер дәстүрлі компрессорлық жүйемен салыстырылып, олардың арасындағы айырмашылық пайыздық қатынаста көрсетілді. Есептеу нәтижелері негізінде жүйелердің энергия тиімділігі мен тұрақтылығы туралы қорытынды жасалды.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, жаңартылатын энергия көздерін пайдалану энергия тұтынуды 40–50% төмендетеді. Гибриді жүйелердің тұрақтылығы жоғары.

Кесте 1 – Жүйелерді салыстыру

№	Жүйе	Энергия	COP
1	Дәстүрлі	100%	2.0
2	Күн	60%	3.0
3	Гибрид	50%	3.5

Жүргізілген зерттеу нәтижелері жаңартылатын энергия көздерін пайдаланатын интеграцияланған тоңазытқыш жүйелерінің энергетикалық және экологиялық тұрғыдан тиімді шешім екенін көрсетті. Күн және жел энергиясын біріктіріп қолдану дәстүрлі электр энергиясына тәуелділікті азайтып, энергия шығынын едәуір төмендетуге мүмкіндік береді.

Зерттеу барысында фотоэлектрлік және жылулық негіздегі тоңазытқыш жүйелерінің ерекшеліктері талданып, олардың әрқайсысының артықшылықтары мен шектеулері анықталды. Атап айтқанда, фотоэлектрлік жүйелер жоғары сенімділікке ие болса, абсорбциялық жүйелер электр энергиясын аз тұтынуымен ерекшеленеді. Сонымен қатар, термоэлектрлік жүйелердің қарапайым құрылымы олардың шағын құрылғыларда тиімді қолданылуын қамтамасыз етеді.

Интеграцияланған (гибриді) жүйелерді қолдану жаңартылатын энергия көздерінің

тұрақсыздығын төмендетіп, жүйенің үздіксіз жұмыс істеуін қамтамасыз ететіні анықталды. Энергия сақтау құрылғыларын пайдалану бұл жүйелердің тиімділігін арттырып, тәуліктік жүктемені теңестіруге мүмкіндік береді.

Зерттеу нәтижелері бойынша, жаңартылатын энергия көздерін пайдалану арқылы тоңазытқыш жүйелерінің энергия тұтынуын 30–50% дейін төмендетуге болатыны және пайдалы әсер коэффициентін арттыруға мүмкіндік бар екені дәлелденді. Бұл көрсеткіштер ұсынылған жүйелердің экономикалық тұрғыдан да тиімді екенін көрсетеді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Осылайша, жаңартылатын энергия көздерін пайдаланатын интеграцияланған тоңазытқыш жүйелері энергия үнемдеу, экологиялық қауіпсіздік және автономды жұмыс істеу тұрғысынан болашағы зор технология болып табылады.

Болашақта жүргізілетін зерттеулер келесі бағыттарға бағытталуы тиіс:

1. жүйенің пайдалы әсер коэффициентін арттыру;

2. энергия сақтау технологияларын жетілдіру;

3. интеллектуалды басқару жүйелерін енгізу;

4. жүйенің экономикалық тиімділігін арттыру.

Қорытындылай келе, жаңартылатын энергия көздеріне негізделген тоңазытқыш жүйелерін дамыту – тұрақты энергетиканы қалыптастырудың маңызды қадамдарының бірі болып табылады.

Авторлар мүдделер қақтығысының жоқ екенін мәлімдейді.

Авторлық құқық © 2026 автор(лар)ға тиесілі. Бұл мақала [Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International](#) (CC BY-SA 4.0) лицензиясы бойынша ашық қолжетімді болып табылады. Лицензия түпнұсқа еңбекке тиісті түрде сілтеме жасалған жағдайда, кез келген ортада пайдалануға, таратуға және қайта жариялауға рұқсат береді. Туынды материалдар осы лицензияның дәл осындай шарттарымен таратылуы тиіс.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- [1] H. Lund et al., «Renewable energy systems – A smart energy systems approach», Energy, vol. 100, pp. 1–10, 2015. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544215000593>
- [2] S. A. Kalogirou, Solar Energy Engineering: Processes and Systems. Amsterdam, Netherlands: Academic Press, 2014, pp. 320–345. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/book/9780123972705/solar-energy-engineering>
- [3] I. Dincer and M. A. Rosen, Thermal Energy Storage: Systems and Applications. Chichester, U.K.: Wiley, 2011, pp. 210–235.
- [4] K. E. Herold, R. Radermacher, and S. A. Klein, Absorption Chillers and Heat Pumps. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2016, pp. 95–120.
- [5] [D. M. Rowe, Thermoelectrics Handbook: Macro to Nano. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2006, pp. 1–25.
- [6] International Energy Agency, World Energy Outlook 2022. Paris, France: IEA, 2022, pp. 150–165. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>
- [7] International Renewable Energy Agency (IRENA), Renewable Energy Statistics 2021. Abu Dhabi, UAE: IRENA, 2021, pp. 45–60. [Online]. Available: <https://www.irena.org/publications>
- [8] Z. Kaneesamkandi and A. Sayeed, «Performance of Solar Hybrid Cooling Operated by Solar Compound Parabolic Collectors under Weather Conditions in Riyadh, Kingdom of Saudi Arabia», Applied Sciences, vol. 13, no. 12, p. 7343, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/app13127343>
- [9] A. Maiorino, F. Petruzzello, C. Cilenti, R. Llopis, and C. Aprea, «Performance evaluation of a hybrid photovoltaic-vapor compression system serving a refrigerated van», International Journal of Refrigeration, vol. 168, pp. 720–729, 2024. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140700724003608>
- [10] S. Paudel, J. N. Shrestha, F. J. Neto, J. A. F. Ferreira, and M. Adhikari, «Optimization of hybrid PV/wind power system for remote telecom station», presented at the IEEE conference, 2011. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1411.5343>
- [11] M. Gado, S. Ookawara, S. Nada, and H. Hassan, «Performance assessment of photovoltaic/thermal (PVT) hybrid adsorption-vapor compression refrigeration system», Journal of Energy Systems, vol. 6, no. 2, pp. 209–220, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.30521/jes.1002871>
- [12] D. Shen and A. Izadian, «Extremum power seeking control of a hybrid wind-solar-storage DC power system», arXiv preprint arXiv:2007.05093, 2020. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2007.05093>

IT Technologies, Energy, Automation and Computer EngineeringDOI: <https://www.doi.org/10.53002/141>**DEVELOPMENT OF AN INTERACTIVE TRAINING PACKAGE ON THE DISCIPLINE
«DESIGN THINKING» IN THE CONTEXT OF AUTOMATION AND MANAGEMENT****Spichak Ye.V., Klopov Yu.S.**Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan***Correspondent's E-mail: ye.spichak@tttu.edu.kz***Author information:****Spichak Yekaterina Vladimirovna**, Karaganda Industrial University, 101400, Republic Avenue, 30, Temirtau, Karaganda region, Kazakhstan, e-mail: ye.spichak@tttu.edu.kz**Klopov Yuri Stanislavovich**, Karaganda Industrial University, 101400, Republic Avenue, 30, Temirtau, Karaganda region, Kazakhstan, e-mail: u.klopov@tttu.edu.kz

Abstract — The article discusses the development and implementation of an interactive training complex in the discipline «Design Thinking» in the bachelor's degree program «Automation Systems Engineering». The relevance of the research is due to the active digital transformation of higher education, increased requirements for practice-oriented learning and the need for future graduates in the field of «Electrical Engineering and Automation» to develop not only professional and technical knowledge, but also creative design, analytical and communicative competencies. In the context of automation and increasing complexity of engineering activities, the integration of interactive and digital technologies into the educational process is of particular importance.

The paper uses methods of theoretical analysis of scientific publications, generalization of pedagogical experience, pedagogical observation, student and teacher questionnaires, as well as comparative analysis of learning outcomes. Based on the conducted research, a mixed learning model has been developed that provides for a pedagogically sound combination of online and offline forms of work with students. The practical implementation of the model was carried out using the eXe Learning platform and a specially developed set of interactive tasks focused on the step-by-step development of the methodology of design thinking. The results of the pilot implementation showed a steady increase in students' involvement in the educational process, an increase in the level of educational motivation, activation of independent cognitive activity and improvement in the quality of learning compared with the traditional teaching format. The data obtained confirm the pedagogical expediency of using interactive technologies in engineering education. Promising areas of further research related to the development of adaptive educational systems, the use of learning analytics and the expansion of the functionality of digital learning complexes have been identified.

Keywords — design thinking, interactive technologies, electronic learning aid, blended learning, learning automation, digital platforms, eXe Learning.

**АВТОМАТТАНДЫРУ ЖӘНЕ БАСҚАРУ КОНТЕКСТІНДЕ «ДИЗАЙН-ОЙЛАУ» ПӘНІ
БОЙЫНША ИНТЕРАКТИВТІ ОҚЫТУ КЕШЕНІН ӘЗІРЛЕУ****Спичак Е.В., Клопов Ю.С.**Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан***Корреспондент E-mail: ye.spichak@tttu.edu.kz***Авторлар туралы ақпарат:****Спичак Екатерина Владимировна**, Қарағанды индустриялық университеті, 101400, Республика даңғылы, 30, Теміртау, Қарағанды облысы, Қазақстан, e-mail: ye.spichak@tttu.edu.kz**Клопов Юрий Станиславович**, Қарағанды индустриялық университеті, 101400, Республика даңғылы, 30, Теміртау, Қарағанды облысы, Қазақстан, e-mail: u.klopov@tttu.edu.kz

Абстракт — Мақалада «Автоматтандыру жүйелерінің инженериясы» білім беру бағдарламасы бойынша бакалаврларды даярлау жүйесінде «Дизайн-ойлау» пәні бойынша интерактивті оқыту кешенін әзірлеу және енгізу мәселелері қарастырылады. Зерттеудің өзектілігі жоғары білім берудің белсенді цифрлық трансформациясымен, оқытудың тәжірибеге бағдарлануына қойылатын талаптардың күшеюімен және «Электротехника және автоматтандыру» бағыты бойынша болашақ түлектердің кәсіби-техникалық білімдерін ғана емес, сонымен қатар шығармашылық-жобалық, аналитикалық және коммуникативтік құзыреттіліктерін қалыптастыру қажеттілігімен байланысты. Автоматтандыру және инженерлік қызметтің күрделенуі жағдайында интерактивті және цифрлық технологиялардың білім беру процесіне интеграциясы ерекше маңызға ие.

Жұмыста ғылыми жарияланымдарды теориялық талдау, педагогикалық тәжірибені жалпылау, педагогикалық бақылау, білім алушылар мен оқытушыларға сауалнама жүргізу, сондай-ақ оқу нәтижелерін салыстырмалы талдау әдістері қолданылды. Жүргізілген зерттеу негізінде білім алушылармен онлайн және офлайн жұмыс нысандарының педагогикалық негізделген үйлесімін көздейтін аралас оқыту моделі әзірленді. Модельді практикалық іске асыру eXe Learning платформасын және дизайн-ойлау әдіснамасын кезең-кезеңімен игеруге бағытталған арнайы әзірленген интерактивті тапсырмалар кешенін қолдану арқылы жүзеге асырылады.

Пилоттық енгізу нәтижелері дәстүрлі оқыту форматымен салыстырғанда білім алушылардың оқу процесіне тартылуының тұрақты өсуін, оқу уәдесінің деңгейін арттыруды, дербес танымдық іс-әрекетті жандандыруды және оқу материалын игеру сапасын жақсартуды көрсетті. Алынған мәліметтер Инженерлік білім беруде интерактивті технологияларды қолданудың педагогикалық орындылығын растайды. Адаптивті білім беру жүйелерін дамытуға, оқыту аналитикасын пайдалануға және цифрлық оқыту кешендерінің функционалдық мүмкіндіктерін кеңейтуге байланысты әрі қарайғы зерттеулердің перспективалық бағыттары айқындалды.

Кілт сөздер — дизайн ойлау, интерактивті технологиялар, электронды оқу құралы, аралас оқыту, оқытуды автоматтандыру, сандық платформалар, eXe Learning.

РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОГО ОБУЧАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ДИЗАЙН-МЫШЛЕНИЕ» В КОНТЕКСТЕ АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ

**Спичак Е.В., Клопов Ю.С.*

Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

**E-mail корреспондента: ye.spichak@tttu.edu.kz*

Информация об авторах:

Спичак Екатерина Владимировна, Карагандинский индустриальный университет, 101400, проспект Республики, 30, Темиртау, Карагандинская область, Казахстан, e-mail: ye.spichak@tttu.edu.kz **Клопов Юрий Станиславович**, Карагандинский индустриальный университет, 101400, проспект Республики, 30, Темиртау, Карагандинская область, Казахстан, e-mail: u.klopov@tttu.edu.kz

Аннотация — В статье рассматриваются вопросы разработки и внедрения интерактивного обучающего комплекса по дисциплине «Дизайн-мышление» в системе подготовки бакалавров по образовательной программе «Инженерия систем автоматизации». Актуальность исследования обусловлена активной цифровой трансформацией высшего образования, усилением требований к практико-ориентированности обучения и необходимостью формирования у будущих выпускников по направлению «Электротехника и автоматизация» не только профессионально-технических знаний, но и креативно-проектных, аналитических и коммуникативных компетенций. В условиях автоматизации и усложнения инженерной деятельности особое значение приобретает интеграция интерактивных и цифровых технологий в образовательный процесс.

В работе использованы методы теоретического анализа научных публикаций, обобщения педагогического опыта, педагогического наблюдения, анкетирования обучающихся и преподавателя, а также сравнительного анализа результатов обучения. На основе проведённого исследования разработана модель смешанного обучения, предусматривающая педагогически обоснованное сочетание онлайн- и офлайн форм работы с обучающимися. Практическая реализация модели осуществлена с применением платформы eXe Learning и специально разработанного комплекса интерактивных заданий, ориентированных на поэтапное освоение методологии дизайн-мышления. Результаты пилотного внедрения показали устойчивый рост вовлечённости обучающихся в учебный процесс, повышение уровня учебной мотивации, активизацию самостоятельной познавательной деятельности и улучшение качества усвоения учебного материала по сравнению с традиционным форматом преподавания. Полученные данные подтверждают педагогическую целесообразность использования интерактивных технологий в инженерном образовании. Определены перспективные направления дальнейших исследований, связанные с развитием адаптивных

образовательных систем, использованием аналитики обучения и расширением функциональных возможностей цифровых обучающих комплексов.

Ключевые слова — дизайн-мышление, интерактивные технологии, электронное учебное пособие, смешанное обучение, автоматизация обучения, цифровые платформы, eXe Learning.

MAIN PROVISION

The study demonstrated that combining design thinking methodology with interactive digital tools within The developed blended learning model, built on the a blended learning format leads to a noticeably higher eXe Learning platform, showed that a reasonable balance between online theoretical modules and offline team practice allows students to move toward activity-based learning without overloading face-to-face classes.

The pilot implementation among the ISA-23s-1, ISA-23s-2 and ISA-23v groups showed a steady rise in learning motivation and independent cognitive activity, confirmed both by observation and by students' survey responses.

The results obtained can be applied more broadly to build similar interactive training complexes in other engineering disciplines where creative and project-based competencies need to be developed alongside technical knowledge, though automated feedback still cannot fully replace live communication with a teacher.

INTRODUCTION

The modern higher education system is undergoing an intensive digital transformation, which leads to a revision of traditional approaches to the organization of the educational process. A deep understanding of the mechanisms of this transformation is crucial to ensure the competitiveness of engineering personnel in the context of industry 4.0. The development of information technology, automation of production and management processes, as well as the growing requirements for the flexibility of professional competencies of specialists necessitate the introduction of new pedagogical models focused on the active participation of students and the practical orientation of learning.

This problem is becoming especially relevant for technical training areas, including educational programs in the field of automation and control. A modern university graduate should possess not only deep technical knowledge, but also developed systems thinking, the ability for interdisciplinary interaction, creative problem solving and project activities. In this regard, the methodology of design thinking is of considerable interest, which has proven to be an effective tool for forming a user-oriented approach to solution development.

At the same time, interactive learning technologies are being actively introduced into educational practice, ensuring increased student engagement, the development of their independence and the formation of sustainable professional skills. However, an analysis of

level of student engagement compared to traditional lecture-based teaching.

The developed blended learning model, built on the a current educational practice shows that the issues of system integration of design thinking and interactive digital tools remain insufficiently developed. The lack of a single methodological framework for the introduction of creative technologies into the rigid structures of engineering education creates a significant barrier that limits the development of students' design competencies. This gap in existing knowledge and methodological support determines the need for this study.

This work aims to fill the identified niche by developing a methodology for integrating interactive technologies into the teaching of the discipline «Design Thinking» and evaluating their effectiveness based on the pilot implementation of an electronic textbook. The article discusses the implementation of the blended learning model and the creation of a specialized training complex on the eXe Learning platform for students of the ISA-23s-1, ISA-23s-2, ISA-23v groups.

The relevance of this study is determined by the need to:

- 1) improving the effectiveness of teaching the discipline «Design Thinking» to future engineers;
- 2) integration of interactive digital media into the educational process;
- 3) developing a methodically based model of blended learning;
- 4) empirical verification of the effectiveness of the proposed solutions.

The aim of the work is to develop a methodology for integrating interactive technologies into teaching the discipline «Design Thinking» and evaluating their effectiveness based on the pilot implementation of an electronic textbook.

To achieve the goal, the following tasks were set:

- 1) analyze the theoretical foundations of interactive learning and design thinking;
- 2) to investigate the existing practice of teaching the course;
- 3) develop a model for the implementation of interactive technologies;
- 4) create an electronic training manual;
- 5) conduct a pilot implementation and evaluate its results.

LITERATURE REVIEW

According to E.S. Polat, Doctor of Pedagogical Sciences, interactive technologies are a set of teaching methods and tools that ensure the active participation of students in the learning process through joint activities, information exchange, reflection and decision-making [1].

According to the definition of IDEO founder T. Brown, design thinking is a way to combine analytical and intuitive thinking to create effective user-oriented solutions [2].

In the educational context, design thinking is a technology of project activity that helps students develop the following skills:

- 1) identification and analysis of user needs;
- 2) generation of innovative ideas;
- 3) teamwork and iterative testing of solutions.

Automation of the educational process is the use of software and hardware tools to optimize, manage and control educational activities.

According to A.T. Glukhov, automation of education is one of the key factors in the transition to an intelligent educational environment, where the processes of learning, control and analysis are integrated into a single digital system [3].

The analysis shows that interactive technologies, design thinking and automation of the educational process are interrelated components of modern digital pedagogy:

- 1) interactive technologies ensure the active involvement of students in educational interaction;
- 2) design thinking develops creative and design competencies;
- 3) automation of education creates an infrastructure for effective management and personalization of education.

The combined use of these approaches contributes to the formation of a new model of education based on the principles of flexibility, adaptability and digital interaction.

An analysis of the pedagogical and psychological aspects of interactive learning shows that its effectiveness is based on the active involvement of the student in the learning process. From a pedagogical point of view, interactive methods create conditions for joint search for solutions, exchange of experience and comprehension of acquired knowledge. In this model, the teacher becomes not only a source of information, but also an organizer of educational interaction, who guides, supports and helps to build the logic of reasoning. The student gets the opportunity to learn through action, rather than passive perception of the

material, which enhances understanding and promotes more solid assimilation.

The psychological aspect of interactive learning is primarily related to increased motivation and engagement. When a student sees the results of his own participation, he feels in control of the learning process and takes the initiative more confidently. At the same time, the feeling of belonging to a group increases, the level of anxiety decreases, and a willingness to openly express thoughts is formed. The dialogical form of work develops communication skills, and the constant need to evaluate one's own decisions contributes to the formation of reflection and critical thinking.

Interactive learning combines a pedagogical focus on cooperation and psychological support for an active, motivated student position. This allows you to build the educational process in such a way that it is both meaningful, emotionally intense and developing.

As part of the preparation of the study, a systematic search was carried out for scientific articles, monographs and dissertations dealing with the application of interactive technologies and design thinking in the educational process, including the fields of automation and control. The analysis made it possible to identify the main approaches and conclusions relevant to the topic under consideration.

The analysis of scientific literature [4-9] shows:

- 1) interactive technologies in universities provide tangible educational benefits: increased motivation, engagement, critical thinking, and self-organization skills;
- 2) the methodology of design thinking, when it is introduced into educational programs, becomes not just a theoretical construct, but part of the practical formation of creativity, flexibility, and project thinking skills among future specialists;
- 3) the combination of design thinking and digital/interactive platforms looks promising, as it allows adapting educational programs to modern requirements, stimulating students' independence and improving their technological literacy;
- 4) in conditions of mass education and with the growing role of technology, automation of some processes is possible (for example, job evaluation, support through AI), but research shows that it is not yet possible to completely replace a live teacher, especially when it comes to creative, contextual tasks;

5) there is no «universal recipe», despite many successful examples, even in one discipline, effectiveness strongly depends on the context (technical equipment, teacher training, student motivation, learning culture);

6) in a number of works, approaches have not yet been systematically worked out, a traditionally constructive approach is often used, and the role of digital/automated elements is minimal, which reduces the portability of these models to courses with a technical bias;

7) in studies where AI is used for evaluation or support, difficulties are noted in assessing "human" qualities: empathy, innovation, contextual thinking.

MATERIALS AND METHODS

The discipline «Design Thinking» in the educational program 6B07106 «Automation Systems Engineering» is aimed at developing the competence to select optimal engineering solutions based on the analysis of user needs.

The purpose of studying the discipline is to develop creative thinking, the ability to innovate and solve problems taking into account human needs.

The structure of the discipline includes:

- 1) lecture material (stages of design thinking, tools, business modeling);
- 2) practical work (problem identification, idea generation, prototyping, etc.); 3) final term paper.

As part of the educational program 6B07106 «Automation Systems Engineering», this discipline enhances the interdisciplinary nature of training, ensuring the integration of technical knowledge with methods of creative solution search, prototyping and testing. This helps students develop practice-oriented thinking and flexibility in developing automation systems.

The analysis showed that the applied teaching methods are quite diverse (brainstorming, SCAMPER, teamwork), but their digital support and system interactivity are used to a limited extent.

The study revealed the key limitations of the traditional format.:

- 1) insufficient activity of students;
- 2) limited practical focus;
- 3) weak digital integration;
- 4) uneven student engagement;
- 5) insufficient support for independent work.

These factors necessitated the development of a new learning model.

The development of a methodology for integrating interactive tools into the teaching process of the Design Thinking course requires taking into account both the specifics of the subject itself and the needs of students for a high degree of engagement, creative activity and practical orientation of learning. The inclusion of interactive tools involves a combination of digital platforms, team techniques, creative techniques, and

practical tasks that provide a dynamic and flexible educational environment.

The key principle of developing such a methodology is the transition from an explanatory and illustrative format to activity-based learning, where students participate in mini-research projects, solve real or simulated tasks, and interact with each other in flexible group structures.

The proposed model is based on the following principles:

- 1) an activity-based approach;
- 2) blended learning;
- 3) digital support for all stages of design thinking;
- 4) a combination of individual and team work;
- 5) continuous feedback.

The model assumes a rational distribution of learning activity between online and offline environments. The online component is focused on the preliminary development of theoretical material and individual work of students and includes theoretical modules, interactive tasks, self-test tools, work with digital whiteboards and testing. The face-to-face component is aimed at developing practical and communication skills and is implemented through brainstorming, team prototyping, collective discussions and defense of developed solutions.

To develop interactive tasks in the form of an electronic textbook, the eXe Learning platform was chosen, which is a freely distributed tool for creating electronic educational resources without the need for programming skills. It allows you to create structured modules that include text blocks, multimedia content, interactive elements, and built-in assessment tools.

The following interactive elements were used to create an electronic training manual for the «Design Thinking» course on the eXe Learning platform:

- 1) in the theoretical material:
 - the «Accordion» effect – prefabricated content panels for presenting information in a limited space;
 - the «Tab» effect – a simple content area with multiple panels;
 - the «Page numbering» effect – splitting the content into different pages;
 - the «Definition» hint – when you hover the cursor over the word pinned in the hint, a window pops up with the definition of the term;
- 2) in section assignments:
 - a cloze assignment is a task in which you need to type the missing word in the appropriate window;
 - in closed form (one correct) – a test task in which it is necessary to select one answer as correct;

- a drop-down activity – a task in the form of a text with gaps with a drop-down list of options;
- a dump list - randomly shuffled statements that need to be placed in the correct order.

This structure ensures a gradual transition from studying the material to its practical application.

Defining criteria for evaluating the effectiveness of implementing interactive tools in teaching the Design Thinking course requires an integrated approach that takes into account both learning outcomes and the level of student engagement, the quality of interaction, and the degree of practical applicability of the acquired skills.

To assess the implementation, groups of indicators were identified:

- 1) learning outcomes: understanding the stages of design thinking, quality of prototypes, reasoning solutions;
- 2) behavioral indicators: activity in classes, participation in discussions, initiative;
- 3) communication indicators: teamwork, quality of interaction, ability to make joint decisions;
- 4) subjective indicators: student satisfaction, convenience of the platform, perceived usefulness.

The pilot implementation was carried out on the ISA-23s-1, ISA-23s-2, ISA-23v groups (21 respondents). During the experiment, empirical data was collected using the following methods:

- 1) pedagogical supervision of the activity and involvement of students in the classroom;
- 2) a survey of students in order to assess the convenience, clarity and educational value of the electronic manual.

Table 1 provides general information about the respondents.

Table 1 – Summary profile of the study participants [10]

Parameter	Category	Number (people)	Share (%)
Digital technology proficiency level	Elementary	1	4,8
	Average	17	80,9
	Advanced	3	14,3
Frequency of course usage	Rarely	8	38,1
	Periodically	10	47,6
	Regularly	3	14,3

A qualitative analysis of the open responses made it possible to refine the results of the quantitative assessment and identify the key advantages and problem areas of using the interactive electronic manual [10].

In the block with open questions, students highlighted the advantages and disadvantages of this

manual, and also made their suggestions for its improvement [10]:

- 1) analysis of the advantages:
 - methodological value: convenient structure, visibility and the possibility of immediate practical testing of the theory;
 - psychological and pedagogical aspects: increased motivation, development of autonomous work skills and the possibility of learning at an individual pace;
 - technological factor: the availability of quick feedback on tasks;
- 2) disadvantage analysis:
 - technical barrier: lack of adaptive mobile version and dependence on internet connection quality;
 - dialogue deficit: there is an internal contradiction in the answers, in the presence of automated feedback, students acutely feel the lack of prompt "live" help from the teacher and advice on complex issues.;
 - cognitive barriers: uneven complexity of tasks and insufficient explanations for certain highly specialized topics;
- 3) suggestions for improvement:
 - optimization of the interface for smartphones and tablets;
 - implementation of a multi-level complexity system (differentiated approach);
 - integration of a communication module for direct communication with the teacher within the environment.

To assess the effectiveness of the implementation, a comparison of learning outcomes in the traditional format and in the format using an interactive learning package was carried out. A comparative analysis showed a positive trend in learning outcomes and a higher level of student engagement when using interactive technologies compared to traditional teaching methods.

The results of the pilot implementation confirmed the expediency of using an electronic textbook in teaching the course "Design Thinking" and its potential to improve the quality of teaching in the field of automation and control.

CONCLUSION

In the course of the research, the scientific and practical task of developing and testing an interactive training complex in the discipline «Design Thinking» for training specialists in the field of automation and control was solved.

The results obtained allow us to draw the following conclusions:

1) the integration of interactive technologies into the teaching of the discipline contributes to a significant increase in the involvement of students and their learning activity, the transition from an explanatory and illustrative model to an activity-based one ensures deeper learning of the material and the formation of practical skills;

2) the use of design thinking methodology in combination with digital tools effectively develops user-oriented thinking, creativity and teamwork among future engineers;

3) the developed model of blended learning has shown high pedagogical effectiveness due to the rational distribution of activity between the online and offline environment;

4) the use of the eXe Learning platform has confirmed its technological and methodological feasibility for creating interactive learning resources.

The results of the work confirm the high potential of interactive technologies and design thinking as tools

for modernizing engineering education in the context of digital transformation.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Spichak Ye.V.: conceptualization (moderator), methodology, scientific guidance, writing — reviewing and editing.

Klopov Yu.S.: research, formal analysis, writing — the first option.

All the authors approved the final version of the work.

Copyright © 2026 by the author(s). This article is published as Open Access under the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International \(CC BY-SA 4.0\)](#) license. This license permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. Derivative works must be distributed under the same license

REFERENCES

- [1] Teoriya i praktika distantsionnogo obucheniya: uchebnoe posobie dlya vuzov / E.S. Polat [i dr.]; pod redaktsiej E.S. Polat. – 2-e izd., pererab. i dop. – M.: Yurajt, 2020. – 434 s.
- [2] T. Braun. Dizajn-myshlenie. Ot razrabotki novykh produktov do proektirovaniya biznes-modelej. – M.: MIF, 2019. – 256 s.
- [3] A.T. Glukhov. Informatsionnye tekhnologii v obrazovanii: uchebnoe posobie. – Saratov: Saratovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet imeni Yu.A. Gagarina, EBS ASV, 2020. – 80 s.
- [4] M.M. Mamadaminova. Ta'lim sohasida dizayn-tafakkur texnologiyalarini qo'llashning pedagogik-psixologik xususiyatlari // Ta'lim va innovatsion tadqiqotlar, Samarqand, 2024, №6. – S. 141-144.
- [5] R. Amanbaikzy, Sh.M. Maigeldieva, G.B. Issayeva. Bolashaq mugalimderdin oilau dizainy dagdylaryn konstruktivti oqytu arqyly qalyptastyru // Yasau universitetinin khabarshysy, Turkestan, 2024, №3 (133). – B. 353-366.
- [6] R. Amanbaikzy, A.Zh. Ayaganova, N.S. Zhubanazarova, G.A. Totikova. Kreativti oilaudy damytu oilau dizainynyn negizi retinde // Al-Farabi atyndagy Qazaq ulttyq universiteti khabarshy, «Pedagogikalyq gylymdar» seriyasy, Almaty, 2025, №1 (82). – B. 41-54.
- [7] A.B. Amangozhaeva, E.B. Amangozhaeva, M.A. Markelova, V.D. Zabolotnikova. Sovremennye interaktivnye tekhnologii v vysshem obrazovanii: vliyanie na effektivnost' obucheniya // Izvestiya KazUMOiMYa im. Abylay khana, seriya «Pedagogicheskie nauki», Almaty, 2025, №3 (78). – S. 51-66.
- [8] Ahmed Sadek Abdelmagid, Aseem Mohamed Ibrahim, Ahmed Ali Teleb. The Effect of Designing an Interactive Digital Platform Based on Design Thinking Skills on Developing Awareness of EDT among University Students // American Journal of Education and Technology (AJET), Delaware, 2025, Volume 4 Issue 1. – P. 85-92.
- [9] Sumbul Khan, Wei Ting Liow, Lay Kee Ang. Human or AI? Comparing Design Thinking Assessments by Teaching Assistants and Bots // Computers and Society, Ithaca, New York, 2025. – URL: https://arxiv.org/abs/2510.16069?utm_source=chatgpt.com.
- [10] Spichak E.V., Klopov Yu.S. Issledovanie vnedreniya interaktivnogo obuchayushchego kompleksa «Dizajn-myshlenie» v uchebnyj protsess // Trudy LVI RNPk «Razvitie chelovecheskogo kapitala, tekhnicheskogo obrazovaniya, inzhenernoj nauki i innovatsij kak strategicheskoe napravlenie deyatel'nosti gosudarstva» (16.04.26). – Temirtau: KarIU, 2026. – S. 148-152.

IT-технологии, энергетика, автоматизация и вычислительная техника

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/137>

THE POTENTIAL OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR LEARNING PERSONALIZATION IN ADAPTIVE EDUCATIONAL PORTALS

**Nikolenko V.D., ISpichak Ye.V., INikulshin A.V.,*

Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan

** Correspondent's E-mail: v.nikolenko@tttu.edu.kz*

Author information:

Vladislav Denisovich Nikolenko, Master's Student, Karaganda Industrial University, 101400, Republic Avenue, 30, Temirtau, Karaganda region, Kazakhstan, e-mail: v.nikolenko@tttu.edu.kz

Yekaterina Vladimirovna Spichak, Master, Senior Lecturer, Karaganda Industrial University, 101400, Republic Avenue, 30, Temirtau, Karaganda region, Kazakhstan, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-4348-0401>, e-mail: ye.spichak@tttu.edu.kz

Alexandr Vadimovich Nikulshin, Master's Student, Karaganda Industrial University, 101400, Republic Avenue, 30, Temirtau, Karaganda region, Kazakhstan, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-0701-7624>, e-mail: nikulshin2002@mail.ru

Abstract — This article examines the use of artificial intelligence (AI) for learning personalization in adaptive educational portals. The relevance of the study is determined by the development of digital learning environments and the need to move from standardized delivery of educational materials toward individualized learner support. The aim of the article is to identify the main directions for applying AI to learning personalization and to develop a conceptual model of an adaptive educational portal. The study adopts a conceptual-analytical design based on a corpus of 16 Scopus-indexed scientific publications addressing AI in education, adaptive learning, learning analytics, recommender systems, intelligent assistants, and explain ability. The study identifies the types of educational data used for AI-enabled learning personalization and systematizes the mechanisms for adapting content, pace, difficulty, assessment, and feedback. A model of an adaptive educational portal is proposed, incorporating educational data collection, the formation of a digital learner profile, analytics and prediction, adaptive decision-making, intelligent support, explain ability, and pedagogical oversight. The study also identifies the limitations of implementing AI-enabled personalization, including issues related to data quality, algorithmic bias, the opacity of decision-making, privacy, and the risk of over-automation.

Keywords — artificial intelligence, personalization of learning, adaptive educational portal, educational analytics, intelligent assistants.

ОҚУДЫ БЕЙІМДЕЛГІШ БІЛІМ БЕРУ ПОРТАЛДАРЫНДА ЖЕКЕЛЕНДІРУ ҮШІН ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТІ ПАЙДАЛАҢУ

**Николенко В.Д., ІСпичак Е.В., ІНикольшин А.В.,*

Қарағанды Индустриялық Университеті, Теміртау, Қазақстан Республикасы

**Корреспондент E-mail: v.nikolenko@tttu.edu.kz*

Авторлар туралы ақпарат:

Николенко Владислав Денисович, магистрант, Қарағанды индустриялық университеті, 101400, Республика даңғылы, 30, Теміртау, Қазақстан, e-mail: v.nikolenko@tttu.edu.kz

Спичак Екатерина Владимировна, магистр, аға оқытушы, Қарағанды индустриялық университеті, 101400, Республика даңғылы, 30, Теміртау, Қазақстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-4348-0401>, e-mail: ye.spichak@tttu.edu.kz

Никольшин Александр Вадимович, магистрант, Қарағанды индустриялық университеті, 101400, Республика даңғылы, 30, Теміртау, Қазақстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-0701-7624>, e-mail: nikulshin2002@mail.ru

Абстракт — Мақала бейімделгіш білім беру порталдарында оқытуды жекелеңдіру үшін жасанды интеллектіні (ЖИ) қолдануға арналған. Зерттеудің өзектілігі цифрлық білім беру ортасының дамуымен және оқу материалдарын бірізді

ұсынуудан білім алушыларды жекелей қолдауға көшу қажеттілігімен айқындалады. Мақаланың мақсаты – оқытуды жекелеңдіруде ЖИ қолданудың негізгі бағыттарын анықтау және бейімделгіш білім беру порталының тұжырымдамалық моделін әзірлеу. Зерттеу Scopus дерекқорында индекстелген, білім берудегі ЖИ, бейімделгіш оқыту, білім беру аналитикасы, ұсынымдық жүйелер, интеллектуалды ассистенттер және түсіндірмелілік мәселелеріне арналған 16 ғылыми жарияланым негізінде тұжырымдамалық-аналитикалық форматта орындалды. Нәтижесінде ЖИ арқылы жекелеңдіруде қолданылатын білім беру деректерінің түрлері анықталып, мазмұнды, оқу қарқынын, күрделілікті, бағалауды және кері байланысты бейімдеу механизмдері жүйелендірілді. Білім беру деректерін жинауды, білім алушының цифрлық профилін қалыптастыруды, аналитика мен болжауды, бейімделгіш шешімдерді, интеллектуалды қолдауды, түсіндірмелілікті және педагогикалық бақылауды қамтитын бейімделгіш білім беру порталының моделі ұсынылды. ЖИ арқылы жекелеңдіруді енгізудің деректер сапасына, алгоритмдік біржақтылыққа, шешімдердің ашық еместігіне, құпиялылыққа және шамадан тыс автоматтандыру қаупіне байланысты шектеулері анықталды.

Кілт сөздер — жасанды интеллект, оқытуды жекелеңдіру, бейімделген білім беру порталы, білім беру аналитикасы, интеллектуалды көмекшілер.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИИ ДЛЯ ПЕРСОНАЛИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ В АДАПТИВНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПОРТАЛАХ

**Николенко В.Д., ¹Спичак Е.В., ¹Никольшин А.В.,*

Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

** E-mail корреспондента: v.nikolenko@tttu.edu.kz*

Информация об авторах:

Николенко Владислав Денисович, магистрант, Карагандинский индустриальный университет, 101400, проспект Республики, 30, Темиртау, Казахстан, e-mail: v.nikolenko@tttu.edu.kz

Спичак Екатерина Владимировна, магистр, старший преподаватель, 101400, Карагандинский индустриальный университет, 101400, проспект Республики, 30, Темиртау, Казахстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-4348-0401>, e-mail: ye.spichak@tttu.edu.kz

Никольшин Александр Вадимович, магистрант, Карагандинский индустриальный университет, 101400, проспект Республики, 30, Темиртау, Казахстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-0701-7624>, e-mail: nikulshin2002@mail.ru

Аннотация — Статья посвящена использованию искусственного интеллекта (ИИ) для персонализации обучения в адаптивных образовательных порталах. Актуальность исследования определяется развитием цифровых образовательных сред и необходимостью перехода от унифицированной подачи учебных материалов к индивидуализированному сопровождению обучающихся. Цель статьи – определить основные направления применения ИИ для персонализации обучения и разработать концептуальную модель адаптивного образовательного портала. Исследование выполнено в концептуально-аналитическом формате на основе корпуса из 16 научных публикаций, индексируемых Scopus, которые посвящены ИИ в образовании, адаптивному обучению, образовательной аналитике, рекомендательным системам, интеллектуальным ассистентам и вопросам объяснимости. В результате выделены типы образовательных данных, используемых для ИИ-персонализации, систематизированы механизмы адаптации содержания, темпа, сложности, оценивания и обратной связи. Предложена модель адаптивного образовательного портала, включающая сбор образовательных данных, формирование цифрового профиля обучающегося, аналитику и прогнозирование, адаптивные решения, интеллектуальную поддержку, объяснимость и педагогический контроль. Определены ограничения внедрения ИИ-персонализации, связанные с качеством данных, алгоритмической предвзятостью, непрозрачностью решений, приватностью и риском чрезмерной автоматизации.

Ключевые слова — искусственный интеллект, персонализация обучения, адаптивный образовательный портал, образовательная аналитика, интеллектуальные ассистенты

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В ходе исследования были систематизированы типы образовательных данных, которые применяются для персонализации обучения средствами ИИ — сюда относятся результаты диагностики, показатели успеваемости, ошибки

обучающихся, темп прохождения материала, а также данные о взаимодействии с образовательной средой. Выделены основные механизмы адаптации обучения, среди которых образовательная аналитика и прогнозирование учебных рисков, адаптация содержания и сложности заданий по темпу, персонализированная обратная связь, а

также рекомендательные системы и интеллектуальные ассистенты. В работе разработана концептуальная модель адаптивного образовательного портала, которая объединяет в единый цикл сбор образовательных данных, формирование цифрового профиля обучающегося, аналитико-прогностический модуль, модуль адаптивных решений, интеллектуальную поддержку и педагогический контроль. Определены ограничения, которые связаны с внедрением ИИ-персонализации — это неполнота и низкое качество данных, алгоритмическая предвзятость, а также непрозрачность решений и риск чрезмерной автоматизации педагогического процесса. Показано, что для эффективного применения ИИ в адаптивных порталах преподаватель должен оставаться в контуре принятия решений, а рекомендации алгоритмов — оставаться объяснимыми.

ВВЕДЕНИЕ

Цифровая трансформация образования усилила значение электронных образовательных сред, систем управления обучением и образовательных порталов. Вместе с тем многие цифровые платформы сохраняют унифицированную модель обучения, при которой обучающимся предлагаются одинаковые материалы, задания и формы контроля. Такая модель недостаточно учитывает различия в уровне подготовки, темпе освоения содержания, характере ошибок, вовлечённости и потребности в обратной связи [1, 2].

В этих условиях возрастает значение адаптивных образовательных порталов, способных изменять содержание, последовательность, сложность заданий и формы сопровождения с учётом индивидуальных характеристик обучающегося. ИИ в таких системах выступает инструментом анализа образовательных данных, формирования цифрового профиля обучающегося, прогнозирования учебных рисков и поддержки индивидуальной образовательной траектории [3–5].

Современные исследования показывают, что персонализация обучения может реализовываться через образовательную аналитику, рекомендательные системы, адаптивную обратную связь, интеллектуальные обучающие системы, чат-боты и большие языковые модели. Эти технологии позволяют выявлять затруднения, подбирать учебные материалы, предлагать корректирующие задания, адаптировать темп обучения и

обеспечивать более оперативную поддержку обучающегося [6–12].

Однако внедрение ИИ-персонализации связано с рядом ограничений. К ним относятся неполнота и неоднозначность образовательных данных, риск алгоритмической предвзятости, непрозрачность рекомендаций, угрозы приватности, зависимость обучающихся от автоматических подсказок и чрезмерная автоматизация педагогических решений. Поэтому адаптивный образовательный портал должен рассматриваться не только как технологическая система, но и как педагогически управляемая среда, в которой решения ИИ остаются объяснимыми и контролируруемыми преподавателем [13–16].

Несмотря на активное развитие исследований в области ИИ в образовании, отдельные направления, такие как образовательная аналитика, рекомендательные системы, интеллектуальные ассистенты, вопросы объяснимости и этики, часто рассматриваются отдельно. В связи с этим сохраняется потребность в компактной концептуальной модели, которая связывает образовательные данные, цифровой профиль обучающегося, механизмы ИИ-персонализации, адаптивные решения и педагогический контроль в единую структуру адаптивного образовательного портала.

Целью настоящей статьи является определение основных направлений использования ИИ для персонализации обучения в адаптивных образовательных порталах и предложить концептуальную модель, связывающую образовательные данные, цифровой профиль обучающегося, образовательную аналитику, рекомендательные механизмы, интеллектуальную поддержку, обратную связь и педагогический контроль.

Для достижения цели решались следующие задачи: выявление типов образовательных данных, значимых для ИИ-персонализации; систематизация основных механизмов адаптации обучения в образовательном портале; разработка концептуальной модели адаптивного образовательного портала на основе ИИ; определение ключевых ограничений и рисков внедрения ИИ-персонализации в образовательную практику.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Исследование выполнено в концептуально-аналитическом формате с элементами структурированного обзора научной литературы.

Данный подход выбран в связи с тем, что цель работы состоит не в экспериментальной проверке эффективности конкретной платформы, а в обобщении современных подходов к использованию ИИ для персонализации обучения в адаптивных образовательных порталах. Материалами исследования выступил корпус из 16 научных публикаций, индексируемых в международной базе Scopus и доступных в полном тексте. В корпус были включены работы по ИИ в образовании, адаптивному обучению, образовательной аналитике, рекомендательным системам, интеллектуальным ассистентам, чат-ботам, большим языковым моделям (LLM), персонализированной обратной связи и объяснимости ИИ-решений [1–4, 11, 12, 15, 16].

Отбор источников осуществлялся по следующим критериям: соответствие тематике ИИ-персонализации обучения; связь с цифровыми образовательными средами, адаптивными платформами или онлайн-обучением; рассмотрение механизмов анализа образовательных данных, прогнозирования, рекомендаций, адаптивной обратной связи или интеллектуальной поддержки; научная проверяемость и индексируемость источника. В исследование были включены как обзорные работы, позволяющие описать состояние предметного поля, так и статьи, раскрывающие отдельные механизмы адаптации и архитектурные решения для цифровой образовательной среды [5–10, 13, 14].

Анализ источников проводился в три этапа. На первом этапе были выделены ключевые понятия исследования: ИИ в образовании, адаптивное обучение, персонализация, цифровой профиль обучающегося, образовательные данные, образовательная аналитика, рекомендательная система, адаптивная обратная связь и интеллектуальный ассистент. На втором этапе публикации были сопоставлены по исследовательскому фокусу, типу рассматриваемых технологий, используемым образовательным данным, механизмам персонализации, заявленным преимуществам и ограничениям. На третьем этапе была сформирована аналитическая матрица, позволившая сгруппировать источники по тематическим блокам: общие направления применения ИИ в образовании, адаптивные образовательные платформы, образовательная аналитика и прогнозирование, рекомендательные механизмы, персонализированная обратная связь,

интеллектуальные ассистенты и чат-боты, объяснимость, этика и риски внедрения ИИ [2, 3, 6, 8, 9, 11, 13].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На основе проведённого анализа был применён метод концептуального моделирования. В результате были выделены основные типы образовательных данных, механизмы ИИ-персонализации, компоненты адаптивного образовательного портала и ограничения внедрения таких систем. Концептуальная модель строилась вокруг замкнутого цикла: сбор образовательных данных, формирование цифрового профиля обучающегося, аналитика и прогнозирование, адаптивное решение, индивидуальная поддержка, обратная связь и последующее обновление профиля [3, 4, 7, 10, 16].

Основными методами исследования выступили теоретический анализ, сравнительное сопоставление источников, классификация, обобщение и концептуальное моделирование. Ограничением выбранной методологии является отсутствие собственного эмпирического эксперимента, что не позволяет оценивать эффективность конкретной адаптивной платформы на основе статистических данных. Вместе с тем данное ограничение соответствует цели работы, поскольку исследование направлено на систематизацию современных научных подходов и разработку модели, которая может быть использована как теоретическая основа для проектирования адаптивных образовательных порталов и последующих эмпирических исследований [2, 5, 14, 15].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Персонализация обучения в адаптивном образовательном портале основывается не только на применении алгоритмов ИИ, но и на систематическом сборе, обработке и педагогической интерпретации образовательных данных. Под образовательными данными в данном исследовании понимается совокупность цифровых следов, результатов учебной деятельности, характеристик взаимодействия с образовательной средой и показателей прогресса обучающегося, которые могут использоваться для настройки содержания, темпа, сложности заданий, форм контроля и обратной связи [3, 4, 6].

В адаптивном образовательном портале данные выполняют две основные функции. Во-первых, они фиксируют текущее состояние

обучающегося: уровень подготовки, динамику успеваемости, темп освоения материала, характер ошибок, степень вовлечённости и потребность в поддержке. Во-вторых, они становятся основанием для прогнозирования учебных затруднений, подбора ресурсов, формирования рекомендаций и проектирования индивидуальной образовательной траектории [2, 6, 7].

Ключевым условием ИИ-персонализации является формирование цифрового профиля обучающегося. Такой профиль не должен строиться на одном показателе, например итоговом балле или результате теста. Он должен объединять данные об успеваемости, поведении в системе, повторяющихся ошибках, предпочтительных форматах материалов, самостоятельности, вовлечённости и взаимодействии с образовательной средой. Именно многомерный цифровой профиль позволяет системе предлагать не формально «следующий материал», а педагогически обоснованное изменение образовательной траектории [5, 6, 8].

При этом важно различать «сырые» цифровые данные и педагогически значимые показатели. Например, длительное пребывание на странице с учебным материалом может свидетельствовать как о вовлечённости, так и о затруднении, отвлечении или непонимании задания. Поэтому данные должны анализироваться не изолированно, а в связи с контекстом обучения, результатами контроля, характером ошибок и последующими действиями обучающегося [6, 7, 13].

Образовательные данные в адаптивном портале образуют основу цифрового профиля обучающегося и позволяют перейти от унифицированного предоставления материалов к гибкой настройке образовательного процесса. Их ценность определяется не количеством собираемых показателей, а тем, насколько они позволяют принимать педагогически обоснованные решения. Неполные или неверно интерпретированные данные могут привести к ошибочным рекомендациям, преждевременному усложнению материала или необоснованному отнесению обучающегося к группе риска, поэтому ИИ-персонализация должна включать механизм педагогической проверки, объяснения и корректировки алгоритмических выводов [3, 7, 13, 14].

ИИ-персонализация в адаптивном образовательном портале представляет собой совокупность взаимосвязанных механизмов, обеспечивающих настройку образовательного

процесса под индивидуальные особенности, действия и результаты обучающегося. Эти механизмы не ограничиваются автоматической рекомендацией учебных материалов. Они включают образовательную аналитику, прогнозирование учебных рисков, адаптацию содержания, последовательности, темпа, сложности и оценивания, персонализированную обратную связь, интеллектуальную поддержку, объяснимость решений и педагогический контроль [2–4].

Базовым механизмом выступает образовательная аналитика, поскольку именно она преобразует данные об активности, успеваемости, ошибках, темпе и взаимодействии с материалами в педагогически значимые выводы. На её основе система может выявлять затруднения, прогнозировать риск отставания, определять готовность к переходу на следующий уровень и предлагать адаптивные действия. При этом прогнозирование имеет образовательную ценность только в том случае, если оно связано с конкретным решением: повторением материала, изменением сложности, консультацией, дополнительным заданием или вмешательством преподавателя [5–7].

Портал может изменять содержание обучения, последовательность изучения тем, темп прохождения материалов, уровень сложности заданий и форму оценивания. Дополнительно система может формировать персонализированную обратную связь, рекомендовать учебные ресурсы и поддерживать обучающегося через интеллектуального ассистента или чат-бота. Однако все эти действия должны быть объяснимыми и педагогически контролируемыми, поскольку автоматическая адаптация без прозрачности и профессиональной интерпретации может привести к ошибочным или формальным решениям [8–14, 16].

Образовательная аналитика выявляет состояние обучающегося; прогнозирование определяет возможные риски; рекомендательный модуль предлагает материалы и активности; адаптация содержания, темпа, сложности и оценивания изменяет образовательную траекторию; обратная связь помогает скорректировать ошибки; интеллектуальный ассистент обеспечивает оперативную поддержку; объяснимость и педагогический контроль делают решения системы интерпретируемыми [3, 4, 13, 16].

Следовательно, ИИ-персонализация не должна рассматриваться как полная автоматизация педагогического процесса. Алгоритм может

выявить закономерности, предложить ресурс или предупредить о риске, но педагогическое значение этих данных зависит от целей курса, содержания дисциплины, контекста обучения и профессионального суждения преподавателя. Поэтому оптимальной является модель, в которой ИИ выполняет аналитическую, рекомендательную и поддерживающую функцию, а преподаватель сохраняет роль интерпретатора, организатора и контролёра образовательного процесса [7, 13–15].

На основании выделенных типов образовательных данных и механизмов ИИ-персонализации адаптивный образовательный портал можно представить как многоуровневую технологическую систему. В отличие от обычного электронного хранилища учебных материалов, такой портал не только предоставляет доступ к образовательному контенту, но и анализирует действия обучающегося, обновляет его цифровой профиль, прогнозирует возможные затруднения и формирует адаптивные решения по содержанию, темпу, сложности, контролю и обратной связи [1–4].

Предлагаемая модель основана на логике замкнутого цикла: образовательные данные поступают в систему, преобразуются в цифровой профиль обучающегося, анализируются средствами ИИ и образовательной аналитики, после чего используются для настройки индивидуальной образовательной траектории. Результаты дальнейших действий обучающегося снова поступают в систему и уточняют его профиль. В этой логике персонализация выступает не разовым действием, а повторяющимся процессом педагогически управляемой адаптации [4, 6, 7].

В структурном отношении модель включает семь взаимосвязанных компонентов: модуль сбора образовательных данных, цифровой профиль обучающегося, модуль предметной структуры курса, аналитико-прогностический модуль, модуль адаптивных решений, модуль интеллектуальной поддержки, а также модуль объяснимости и педагогического контроля. Такая структура соотносится с распространённой в исследованиях адаптивных платформ логикой «модель обучающегося – модель предметной области – модель адаптации», но дополняет её образовательной аналитикой, рекомендательными механизмами, интеллектуальным ассистентом и контуром объяснимости [3, 13, 16].

Предложенная модель предполагает распределение функций между системой,

обучающимся и преподавателем. Система отвечает за сбор данных, выявление закономерностей, генерацию рекомендаций и оперативную поддержку. Обучающийся взаимодействует с материалами, получает обратную связь, задаёт вопросы и выполняет задания. Преподаватель сохраняет функцию методического и педагогического контроля: интерпретирует аналитические данные, уточняет рекомендации, корректирует содержание курса и принимает решения в случаях, когда автоматическая адаптация недостаточна или потенциально ошибочна [7, 13, 14].

Особое значение в модели имеет связь между рекомендательным модулем и предметной структурой курса. В образовательном контексте рекомендация не может строиться только на сходстве интересов или прошлых действий пользователя. Она должна учитывать образовательную цель, уровень сложности, предварительные знания, последовательность тем, риск перегрузки и необходимость повторения. Поэтому рекомендательная система адаптивного портала должна быть не только технически точной, но и педагогически обоснованной [3, 9, 10].

Интеллектуальный ассистент выполняет интерфейсную функцию: через него обучающийся получает объяснения, подсказки и поддержку в диалоговой форме. Однако такой ассистент не должен рассматриваться как замена преподавателя. Его роль заключается в сопровождении типовых учебных ситуаций, снижении задержки обратной связи и расширении доступа к индивидуальной помощи, тогда как сложные педагогические решения должны оставаться в зоне контроля преподавателя [11, 12, 14, 16].

Концептуальная модель адаптивного образовательного портала на основе ИИ описывает персонализацию как управляемый цикл: сбор образовательных данных – формирование цифрового профиля обучающегося – соотнесение с предметной структурой курса – анализ и прогнозирование – адаптивное решение – интеллектуальная поддержка – объяснение решения – обновление профиля. Такая модель позволяет объединить образовательную аналитику, рекомендательные механизмы, адаптивное оценивание, персонализированную обратную связь и интеллектуального ассистента в единую систему сопровождения индивидуальной образовательной траектории [2–4, 16].

Главный результат предложенной модели состоит в том, что адаптивный образовательный

портал рассматривается не как набор отдельных цифровых инструментов, а как целостная образовательная среда, в которой данные, алгоритмы и педагогические решения связаны в единую систему. При таком подходе ИИ выполняет поддерживающую функцию: помогает выявлять затруднения, подбирать ресурсы, ускорять обратную связь и повышать точность сопровождения обучающегося, сохраняя необходимость педагогического контроля и ответственности [1, 3, 13, 14].

Предложенная концептуальная модель адаптивного образовательного портала на основе ИИ показывает возможности индивидуализации обучения, однако её внедрение связано с рядом ограничений и рисков. Эти ограничения проявляются не только на уровне алгоритмов, но и на уровне образовательных данных, педагогической интерпретации, организационной готовности, защиты приватности и оценки реального образовательного эффекта. Поэтому ИИ-персонализация должна рассматриваться не как универсальное решение образовательных проблем, а как управляемая технологическая система, требующая прозрачного и ответственного внедрения [1–3, 15].

Первая группа рисков связана с данными и алгоритмическими решениями. Если цифровой профиль обучающегося строится на неполных, устаревших или односторонних данных, система может формировать искажённые рекомендации, преждевременно усложнять или упрощать траекторию, ошибочно относить обучающегося к группе риска. Аналогичная проблема возникает при использовании прогностических и рекомендательных моделей: высокая формальная точность алгоритма не всегда означает педагогическую корректность решения в конкретной образовательной ситуации [2, 5–8].

Вторая группа ограничений связана с прозрачностью и педагогическим контролем. Если обучающийся и преподаватель не понимают, почему система предложила повторение темы, изменила сложность задания или выдала предупреждение о риске, снижается доверие к адаптивному portalу и затрудняется профессиональная интерпретация данных. В связи с этим объяснимость решений должна рассматриваться как обязательное условие педагогической состоятельности ИИ-персонализации, а не как дополнительная техническая функция [2, 13, 14].

Третья группа рисков связана с интеллектуальными ассистентами, чат-ботами и LLM. Эти инструменты способны обеспечить оперативную индивидуальную поддержку, однако могут генерировать неточные, неполные или педагогически некорректные ответы. Их неконтролируемое использование может усиливать зависимость обучающихся от автоматических подсказок, снижать самостоятельность и создавать риски академической недобросовестности [11, 12, 14, 16].

Четвёртая группа ограничений имеет организационно-технологический характер. Внедрение адаптивного образовательного портала требует развитой цифровой инфраструктуры, качественного образовательного контента, совместимости с существующими системами управления обучением, подготовленных преподавателей и регламентов работы с образовательными данными. При отсутствии институциональной поддержки и критериев педагогической эффективности ИИ-персонализация может остаться формальной технологической надстройкой, не влияющей существенно на качество обучения [3, 9, 10, 15, 16].

Риски внедрения ИИ-персонализации охватывают данные, алгоритмы, педагогическое взаимодействие, организационные условия и этические аспекты. Их минимизация требует использования многомерных образовательных данных, объяснимости автоматических решений, сохранения преподавателя в контуре контроля, защиты приватности, регламентации работы интеллектуальных ассистентов и оценки эффективности не только по техническим, но и по образовательным показателям. При соблюдении этих условий адаптивный образовательный портал может рассматриваться не как автономная цифровая система, а как инструмент поддержки осмысленной и устойчивой индивидуализации обучения [3, 6, 7, 13–15].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования установлено, что ИИ-персонализация в адаптивных образовательных порталах основывается на систематическом сборе и анализе образовательных данных. К числу значимых данных относятся результаты входной и текущей диагностики, показатели успеваемости, ошибки, повторные попытки, темп прохождения материалов, журналы активности, последовательность учебных действий, предпочтения по формату контента, данные

обратной связи и обращения к интеллектуальному ассистенту.

Определено, что ключевым элементом ИИ-персонализации является цифровой профиль обучающегося. Он объединяет данные об уровне знаний, динамике прогресса, типичных ошибках, темпе обучения, вовлечённости, предпочтениях и потребности в поддержке. Цифровой профиль должен обновляться после значимых учебных действий и использоваться как основание для дальнейшей адаптации образовательной траектории.

Выделены основные механизмы ИИ-персонализации в адаптивном образовательном портале: образовательная аналитика и прогнозирование учебных рисков, адаптация содержания, последовательности, темпа, сложности и оценивания, персонализированная обратная связь, рекомендательные системы, интеллектуальные ассистенты, объяснимость решений и педагогический контроль.

Разработана концептуальная модель адаптивного образовательного портала на основе ИИ. Модель включает модуль сбора образовательных данных, цифровой профиль обучающегося, модуль предметной структуры курса, аналитико-прогностический модуль, модуль адаптивных решений, модуль интеллектуальной поддержки, а также модуль объяснимости и педагогического контроля.

Установлено, что ИИ-персонализация должна функционировать как замкнутый цикл: сбор образовательных данных, формирование цифрового профиля, аналитика и прогнозирование, адаптивное решение, индивидуальная поддержка, обратная связь, результаты обучения и последующее обновление цифрового профиля. Такая циклическая логика отличает адаптивный образовательный портал от цифровой среды, в которой учебные материалы только размещаются и передаются обучающимся без динамической настройки траектории.

Систематизированы основные ограничения и риски внедрения ИИ-персонализации: неполнота и низкое качество образовательных данных, алгоритмическая предвзятость, непрозрачность решений, чрезмерная автоматизация, ослабление совместного обучения, недостоверные ответы интеллектуальных ассистентов, зависимость от ИИ-подсказок, риски приватности, организационно-ресурсные барьеры, низкая готовность преподавателей и недостаточность

педагогической оценки эффективности.

Определены способы минимизации рисков ИИ-персонализации: использование многомерных образовательных данных, регулярная актуализация цифрового профиля, педагогическая проверка автоматических выводов, объяснение рекомендаций и прогнозов, сохранение преподавателя в контуре принятия решений, защита персональных данных, регламентация использования интеллектуальных ассистентов и оценка эффективности не только по техническим, но и по образовательным показателям.

Полученные результаты показывают, что адаптивный образовательный портал на основе ИИ должен рассматриваться как система, объединяющая образовательные данные, аналитические механизмы, адаптивные решения, интеллектуальную поддержку, объяснимость и педагогический контроль. Эффективность такой системы зависит от согласованности её компонентов и от того, насколько алгоритмические решения связаны с образовательными целями, логикой курса и профессиональной интерпретацией преподавателя.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ВКЛАД АВТОРОВ

Николенко В.Д. выполнил поиск и анализ научных источников, подготовил список литературы и участвовал в написании текста статьи.

Никульшин А.В. сформулировал идею исследования, обеспечил подбор отраслевых материалов и участвовал в содержательной разработке статьи.

Спичак Е.В. осуществляла научное руководство и общее научное редактирование рукописи.

Все авторы одобрили окончательную версию статьи.

Авторское право © 2026 принадлежит авторам. Данная статья распространяется на условиях открытого доступа в соответствии с лицензией Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0). Лицензия разрешает свободное использование, распространение и воспроизведение в любой форме при условии обязательного указания авторства и сохранения той же лицензии для производных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] T.K.F. Chiu, Q. Xia, X. Zhou, C.S. Chai, M. Cheng. Systematic literature review on opportunities, challenges, and future research recommendations of artificial intelligence in education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100118>
- [2] S. Wang, F. Wang, Z. Zhu, J. Wang, T. Tran, Z. Du. Artificial intelligence in education: A systematic literature review. *Expert Systems With Applications*. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124167>
- [3] L.Y. Tan, S. Hu, D.J. Yeo, K.H. Cheong. Artificial intelligence-enabled adaptive learning platforms: A review. *Computers and Education: Artificial Intelligence*. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2025.100429>
- [4] I. Gligorea, M. Cioca, R. Oancea, A.T. Gorski, H. Gorski, P. Tudorache. Adaptive Learning Using Artificial Intelligence in e-Learning: A Literature Review. *Education Sciences*. – URL: <https://doi.org/10.3390/educsci13121216>
- [5] E. Du Plooy, D. Casteleijn, D. Franzsen. Personalized adaptive learning in higher education: A scoping review of key characteristics and impact on academic performance and engagement. *Heliyon*. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39630>
- [6] E.T. Khor, K. Mutthulakshmi. A Systematic Review of the Role of Learning Analytics in Supporting Personalized Learning. *Education Sciences*. – URL: <https://doi.org/10.3390/educsci14010051>
- [7] F. Ouyang, M. Wu, L. Zheng, L. Zhang, P. Jiao. Integration of artificial intelligence performance prediction and learning analytics to improve student learning in online engineering course. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*. – URL: <https://doi.org/10.1186/s41239-022-00372-4>
- [8] U. Maier, C. Klotz. Personalized feedback in digital learning environments: Classification framework and literature review. *Computers and Education: Artificial Intelligence*. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100080>
- [9] F.L. Da Silva, B.K. Slodkowski, K.K.A. Da Silva, S.C. Cazella. A systematic literature review on educational recommender systems for teaching and learning: research trends, limitations and opportunities. *Education and Information Technologies*. – URL: <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11341-9>
- [10] R. Pelánek, T. Effenberger, P. Jarušek. Personalized recommendations for learning activities in online environments: a modular rule-based approach. *User Modeling and User-Adapted Interaction*. – URL: <https://doi.org/10.1007/s11257-024-09396-z>
- [11] L. Labadze, M. Grigolia, L. Machaidze. Role of AI chatbots in education: systematic literature review. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*. – URL: <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00426-1>
- [12] Y. Shi, K. Yu, Y. Dong, F. Chen. Large language models in education: a systematic review of empirical applications, benefits, and challenges. *Computers and Education: Artificial Intelligence*. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2025.100529>
- [13] H. Khosravi, S.B. Shum, G. Chen, C. Conati, Y.S. Tsai, J. Kay, S. Knight, R. Martinez-Maldonado, S. Sadiq, D. Gašević. Explainable artificial intelligence in education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100074>
- [14] C.C. Lin, A.Y.Q. Huang, O.H.T. Lu. Artificial intelligence in intelligent tutoring systems toward sustainable education: a systematic review. *Smart Learning Environments*. – URL: <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00260-y>
- [15] A. Fortuna, F. Prasetya, A.D. Samala, S. Rawas, S. Criollo-C, D. Kaya, M. Raihan, W. Andriani, D. Safitri, R.A. Nabawi. Artificial intelligence in personalized learning: A global systematic review of current advancements and shaping future opportunities. *Social Sciences & Humanities Open*. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2025.102114>
- [16] R. Sajja, Y. Sermet, M. Cikmaz, D. Cwierny, I. Demir. Artificial Intelligence-Enabled Intelligent Assistant for Personalized and Adaptive Learning in Higher Education. *Information*. – URL: <https://doi.org/10.3390/info15100596>

IT Technologies, Energy, Automation and Computer Engineering

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/138>

TF-IDF-BASED FAKE NEWS DETECTION IN KAZAKH AND RUSSIAN

^{1*}*Marassulov Ussen Abdurakhimovich*¹, *Orken Mamyrbayev*, ¹*Gulnur Kazbekova*¹*Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkistan, Kazakhstan*²*Institute of Information and Computational Technologies, Almaty, Kazakhstan **Corresponding author: marasulov.usen2024@ayu.edu.kz

Author information:

Marassulov Ussen Abdurakhimovich¹, Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkistan, Kazakhstan, e-mail: marasulov.usen2024@ayu.edu.kz**Orken Mamyrbayev**, Institute of Information and Computational Technologies, Almaty, Kazakhstan**Gulnur Kazbekova**, Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkistan, Kazakhstan, e-mail: kazbekova.gulnur@uny.ac.id

Abstract — Automatic fake news detection has become an important applied problem in natural language processing because digital news and social media content spread rapidly across languages. For Kazakh, the task is especially challenging due to the limited availability of open labeled corpora and the weak adaptation of ready-made models to local media contexts. This paper evaluates classical TF-IDF-based machine learning models on a balanced Kazakh-Russian fake/real dataset of 1,808 texts, with 452 fake and 452 real documents in each language. The experiments include bilingual training, Kazakh-only and Russian-only evaluation, as well as Kazakh-to-Russian and Russian-to-Kazakh transfer. Word-level and character-level TF-IDF features are tested with Logistic Regression, Linear SVM, and Complement Naive Bayes. The monolingual and bilingual settings achieved Macro-F1 around 0.985. Cross-lingual evaluation revealed a clear directional asymmetry: Kazakh-to-Russian transfer produced Macro-F1 = 0.654, whereas Russian-to-Kazakh transfer reached Macro-F1 = 0.926. The findings are interpreted as an explainable baseline for Kazakh-Russian fake/real classification rather than as a production-ready fact-checking system.

Keywords — fake news, disinformation, Kazakh language, Russian language, TF-IDF, machine learning, cross-lingual classification.

ҚАЗАҚ ЖӘНЕ ОРЫС ТІЛДЕРІНДЕГІ ЖАЛҒАН ЖАҢАЛЫҚТАРДЫ TF-IDF АРҚЫЛЫ АНЫҚТАУ

^{1*}*Марасулов Уссен Абдурахимович*², *Өркен Мамырбаев*, ¹*Гүлнұр Қазбекова*¹*Қожа Ахмет Ясауи Атындағы Халықаралық Қазақ-Түрік Университеті, Түркістан, Қазақстан*²*Ақпараттық Және Есептеу Технологиялары институты, Алматы Қ., Қазақстан** Корреспондент-автор: marasulov.usen2024@ayu.edu.kz

Авторлар туралы ақпарат:

Марасулов Уссен Абдурахимович¹, Қожа Ахмет Ясауи Атындағы Халықаралық Қазақ-Түрік Университеті, Түркістан, Қазақстан, e-mail: marasulov.usen2024@ayu.edu.kz**Өркен Мамырбаев**, Ақпараттық Және Есептеу Технологиялары институты, Алматы Қ., Қазақстан**Гүлнұр Қазбекова**, Қожа Ахмет Ясауи Атындағы Халықаралық Қазақ-Түрік Университеті, Түркістан, Қазақстан, e-mail: kazbekova.gulnur@uny.ac.id

Абстракт — Қазіргі цифрлық ақпарат кеңістігінде жалған жаңалықтарды автоматты түрде тану табиғи тілді өңдеу мен машиналық оқытудың маңызды қолданбалы міндеттерінің біріне айналды. Қазақ тілі үшін бұл мәселе ерекше өзекті, себебі ашық белгіленген корпустар аз, ал дайын модельдер көбіне ағылшын немесе басқа ресурсы мол тілдерге бейімделген. Бұл жұмыста қазақ және орыс тілдеріндегі fake/real мәтіндерден құралған теңгерілген корпус негізінде TF-IDF белгілеріне сүйенетін классикалық классификаторлар бағаланды. Корпус 1808 мәтінді қамтиды: әр тілде 452 fake және 452 real мәтін бар. Эксперименттер екітілді оқыту, қазақ тіліндегі бөлек бағалау, орыс тіліндегі бөлек

бағалау, қазақ тілінен орыс тіліне және орыс тілінен қазақ тіліне кросс-тілдік тасымалдау сценарийлері бойынша жүргізілді. Logistic Regression, Linear SVM және Complement Naive Bayes модельдері word-level және character-level TF-IDF белгілерімен салыстырылды. Біртілді және екітілді сценарийлерде Macro-F1 0.985 деңгейіне жетті. Кросс-тілдік тексерісте бағытқа тәуелді айырмашылық байқалды: қазақ тілінде оқытылып, орыс тілінде тексерілген модель Macro-F1 = 0.654 көрсетті, ал орыс тілінде оқытылып, қазақ тілінде тексерілген модель Macro-F1 = 0.926 деңгейіне жетті. Нәтижелер өндірістік фактчекінг жүйесі ретінде емес, қазақ-орыс fake/real классификациясы үшін түсіндірілетін baseline және әрі қарайғы салыстыруларға арналған бастапқы өлшем ретінде қарастырылады. **Кілт сөздер** — жалған жаңалықтар, дезинформация, қазақ тілі, орыс тілі, TF-IDF, машиналық оқыту, кросс-тілдік классификация.

ВЫЯВЛЕНИЕ ЛОЖНЫХ НОВОСТЕЙ НА КАЗАХСКОМ И РУССКОМ ЯЗЫКАХ TF-IDF-МОДЕЛЯМИ

¹*Марасулов Уссен Абдурахимович, ²Оркен Мамырбаев, ¹Гульнур Казбекова

¹Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмета Яссави, Туркестан, Казахстан

²Институт информационных и вычислительных технологий, Алматы, Казахстан

* E-mail корреспондента: marasulov.usen2024@ayu.edu.kz

Информация об авторах:

Марасулов Уссен Абдурахимович, Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмета Яссави, Туркестан, Казахстан, e-mail: marasulov.usen2024@ayu.edu.kza

Оркен Мамырбаев, Институт информационных и вычислительных технологий, Алматы, Казахстан

Гульнур Казбекова, Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмета Яссави, Туркестан, Казахстан, e-mail: kazbekova.gulnur@uny.ac.id

Аннотация — Автоматическое распознавание ложных новостей становится значимой прикладной задачей обработки естественного языка в условиях быстрого распространения цифрового контента. Для казахского языка эта задача осложняется нехваткой открытых размеченных корпусов и ограниченной адаптацией готовых моделей к локальному медиаконтексту. В статье рассматривается сбалансированный казахско-русский набор данных fake/real, включающий 1808 текстов: по 452 fake и 452 real текста на каждом языке. Экспериментальная схема охватывает билингвальное обучение, отдельные казахский и русский режимы, а также перенос с казахского на русский и с русского на казахский. В качестве признаков использованы word-level и character-level TF-IDF, а в качестве классификаторов применены Logistic Regression, Linear SVM и Complement Naive Bayes. В одноязычных и билингвальном сценариях Macro-F1 достигал 0,985. При кросс-языковой оценке выявлена асимметрия: перенос с казахского на русский дал Macro-F1 = 0,654, тогда как перенос с русского на казахский достиг Macro-F1 = 0,926. Полученные результаты интерпретируются как объяснимый baseline для казахско-русской классификации fake/real с учетом возможных source, topic и temporal bias.

Ключевые слова — ложные новости, дезинформация, казахский язык, русский язык, TF-IDF, машинное обучение, кросс-языковая классификация.

MAIN PROVISION

Automatic detection of false news is becoming an increasingly important task of natural language processing, as content is distributed quickly in several languages at once. For the Kazakh language, this is complicated by the lack of open marked-up buildings and poor adaptation of ready-made models to the local media text. The paper evaluated classical TF-IDF-based models on a balanced Kazakh-Russian fake/real dataset of 1,808 texts (452 fake and 452 real for each language), with word-level and character-level TF-IDF features and classifiers Logistic Regression, Linear SVM and Complement Naive Bayes.

In monolingual and bilingual scenarios, the quality of the models turned out to be high, with a Macro—F1 of about 0.985, which indicates the presence of pronounced lexical signals within each class. Russian Russian cross-language assessment revealed a clear asymmetry: the transfer from Kazakh to Russian gave a Macro-F1 = 0.654, while the transfer from Russian to Kazakh turned out to be noticeably more stable — Macro-F1 = 0.926.

High metrics should not be interpreted as a model's understanding of factual reliability; rather, they reflect distinguishable textual features (style, source, subject matter). Therefore, the results are presented as an explicable baseline for further comparison with transformational models (XLM-RoBERTa, multilingual BERT), taking into account

possible source, topic, and temporal bias, as well as the risk of near-duplicate texts.

INTRODUCTION

Online media and social platforms have made news dissemination much faster than before. While this gives society rapid access to information, it also creates conditions for the fast circulation of unverified or deliberately distorted texts. Such information may affect public trust, political and economic decisions, and health-related behavior. For this reason, automatic fake news detection has become an applied and socially relevant research area in natural language processing and machine learning.

Most of the material studied in this area belongs to high-resource languages such as English: these languages have larger labeled corpora, fact-checking platforms, pretrained models and benchmark datasets. The situation is different for Kazakh: high-quality open labeled data are scarce, the morphology of the language is complex, and the content and presentation of local misinformation are not fully represented in English machine learning and deep learning approaches [8]. FakeNewsNet combines several information dimensions [18], while Thibault et al. highlight the need to control label quality, dataset leakage and spurious correlation risks [5]. For this reason, the metrics obtained in this work are presented not as final evidence, but as baseline results that should later be retested using source-based, topic-based and temporal splits.

In low-resource and multilingual settings, these issues become even more complex. Recent reviews identify dataset bias, model constraints, lack of multilingual data and cross-lingual generalization as major obstacles for fake news detection systems [3, 12]. Research on cross-lingual cross-domain transfer learning demonstrates the potential of transferring knowledge from high-resource languages to lower-resource ones [4]. De et al. showed that multilingual BERT may be useful for low-resource fake news classification [9]. All of this requires careful design of corpus structure and evaluation scenarios for languages such as Kazakh.

Multilingual transformer models are a natural comparison direction for this study. BERT expanded the ability to encode text through contextual embeddings and achieved a new level in many NLP tasks [19]. XLM-RoBERTa demonstrated strong performance in cross-lingual transfer through multilingual pretraining [20]. In the Kazakh-Russian context, Sambetbayeva et al. show the need for multi-level annotation beyond the binary fake/real label, including CLAIM, SOURCE, EVIDENCE, DISINFORMATION_TECHNIQUE, AUTHOR_INTENT and TARGET_AUDIENCE [6].

Telman et al. compared a TF-IDF baseline, a translation-based cross-lingual approach and XLM-RoBERTa for Kazakh fake news detection [7].

Based on this literature, the present paper does not aim to replace transformer models, but to clarify an explainable TF-IDF baseline needed for comparison with them.

The literature suggests that simple and reproducible baseline evaluation for Kazakh-Russian bilingual fake/real texts remains insufficient. Although complex deep learning models are promising, their advantages can be interpreted only after data quality, source bias and the initial level of transfer between languages are established. Therefore, this work is not positioned against transformer models; rather, it provides an initial measurement that can support fair comparison in future studies.

LITERATURE REVIEW

Automatic fake news detection is considered a broader problem than simple text classification. In this task, news content, user reactions, propagation networks and source credibility all play a role. Shu et al. [13] describe the importance of news content, user engagement and social context for fake news detection, while Zhou and Zafarani [14] systematize dimensions such as writing style, propagation pattern, false knowledge and source credibility. Later benchmark studies also show that model quality depends not only on the algorithm, but also on dataset size, label quality and the evaluation scenario [8].

Studies of misinformation diffusion increase the applied importance of this topic. Vosoughi, Roy and Aral [15] showed on Twitter data that false news may, in some cases, spread faster and more widely than true news. From this perspective, automatic detection systems are not merely technical experiments, but also practical tools related to information security and public trust.

Dataset quality is a decisive factor in fake news detection. The LIAR dataset proposed by Wang enabled the evaluation of short political statements using multi-level truthfulness labels [16]. FEVER connected claim verification with evidence extraction [17], while FakeNewsNet supplemented news content with social context and spatiotemporal information [18]. The X-Fact benchmark for multilingual fact-checking makes it possible to compare claim verification across languages [2]. These works show that dataset structure and annotation schema directly affect the interpretation of model results.

However, there is a risk that a model may achieve high performance mainly through text style or source differences. Hamed et al. [1] note that fake news detection quality is affected by dataset size, label

quality, feature representation and data fusion. Thibault et al. [5] show that spurious correlations and label quality issues in misinformation detection data can prevent results from generalizing. Therefore, the high TF-IDF scores in this paper are interpreted cautiously as distinguishable signals within the corpus rather than as direct evidence of factual verification ability.

Evidence-based verification becomes especially important in multilingual settings. Dementieva and Panchenko [10] showed that using evidence from another language can improve monolingual fake news detection. The Multiverse study extends this idea and demonstrates that comparing news across languages can provide an additional explainable signal for fake news classification [11]. This direction is relevant for the Kazakh-Russian media space in Kazakhstan because the same event may be presented in the two languages with different styles, sources or emphases.

To interpret evaluation results, data completeness and cleanliness must be considered separately. Galli et al. proposed a benchmark for fake news detection and compared the capabilities and limitations of traditional machine learning and deep learning approaches [8]. FakeNewsNet combines several information dimensions [18], while Thibault et al. highlight the need to control label quality, dataset leakage and spurious correlation risks [5]. For this reason, the metrics obtained in this work are presented not as final evidence, but as baseline results that should later be retested using source-based, topic-based and temporal splits.

In low-resource and multilingual settings, these issues become even more complex. Recent reviews identify dataset bias, model constraints, lack of multilingual data and cross-lingual generalization as major obstacles for fake news detection systems [3, 12]. Research on cross-lingual cross-domain transfer learning demonstrates the potential of transferring knowledge from high-resource languages to lower-resource ones [4]. De et al. showed that multilingual BERT may be useful for low-resource fake news classification [9]. All of this requires careful design of corpus structure and evaluation scenarios for languages such as Kazakh.

Multilingual transformer models are a natural comparison direction for this study. BERT expanded the ability to encode text through contextual embeddings and achieved a new level in many NLP tasks [19]. XLM-RoBERTa demonstrated strong performance in cross-lingual transfer through multilingual pretraining [20]. In the Kazakh-Russian context, Sambetbayeva et al. show the need for multi-level annotation beyond the binary fake/real label, including CLAIM, SOURCE, EVIDENCE, DISINFORMATION_TECHNIQUE,

AUTHOR_INTENT and TARGET_AUDIENCE [6]. Telman et al. compared a TF-IDF baseline, a translation-based cross-lingual approach and XLM-RoBERTa for Kazakh fake news detection [7].

Based on this literature, the present paper does not aim to replace transformer models, but to clarify an explainable TF-IDF baseline needed for comparison with them.

The literature suggests that simple and reproducible baseline evaluation for Kazakh-Russian bilingual fake/real texts remains insufficient. Although complex deep learning models are promising, their advantages can be interpreted only after data quality, source bias and the initial level of transfer between languages are established. Therefore, this work is not positioned against transformer models; rather, it provides an initial measurement that can support fair comparison in future studies.

MATERIALS AND METHODS

Dataset

The experiments were based on a bilingual corpus composed of fake and real texts in Kazakh and Russian. Texts collected from open sources were preprocessed, and duplicate records were removed. After deduplication, the full dataset contained 2,740 records: 452 fake and 518 real texts in Kazakh, and 895 fake and 875 real texts in Russian. The sources included fact-checking resources, materials documenting misinformation and mainstream news portals. Although the internal table preserved the `source_file` field, it was not provided to the model as a feature.

To prevent language or class imbalance from having an excessive effect on evaluation, a balanced subset was created: 452 texts were selected for each language-class combination. Thus, the experimental corpus contained 1,808 texts. This balance facilitates model comparison, but it does not reflect the actual prevalence of real and fake texts in the natural information flow. Therefore, the results describe classification quality under a controlled laboratory scenario rather than prevalence in the real media environment.

Table 1 - Balanced dataset composition by language and class

Language	Fake texts	Real texts	Total
Kazakh	452	452	904
Russian	452	452	904
Total	904	904	1808

The Fake class included texts from sources related to fact-checking or misinformation documentation,

such as factcheck_kz_zhalgan, gov_factcheck_fake_claims, nofake_new_wp_fake_kk_ru and provereno_media_fake_ru. The Real class was formed from mainstream news sources such as Egemen, Kazinform, Informburo, Tengrinews, Zakon and user-provided Kazakh news. Here, the real label does not mean that each text underwent independent fact-checking; it only indicates that the text was taken from a trusted news source. Therefore, the result is interpreted as a baseline for textual fake/real discrimination rather than as detection of absolute factual truth.

The model input was created by combining the title, claim and main body fields. ID, source_file, URL, date and other metadata were not passed to the classifier. Empty texts, records with incorrect language values and records with invalid labels were excluded from the experiments. This decision reduces the risk that the model directly memorizes source names, but it does not completely eliminate indirect source signals that may remain through style, topic and text structure.

Deduplication was performed using textual fields based on the title, claim and main text. Exact duplicate records were removed, and groups with conflicting labels were marked as unsuitable for inclusion in the experiment. This reduces the risk of train/test leakage. Nevertheless, lightly edited or paraphrased texts about the same event cannot be assumed to have been fully removed; therefore, without external testing, the results cannot be generalized to the entire information space.

To interpret the nature of the labels, the fake and real classes were considered separately. Fake texts are often associated with refutation or fact-checking-style materials, where structures such as denial, explanation and source rejection may occur frequently. Real texts are more likely to contain editorial news language, official information style and portal-specific formatting. This difference provides useful signals for the classifier, but it also increases the risk that the model learns genre and source-specific features rather than factual truth.

Experimental Scenarios

The models were evaluated under the following five scenarios.

Table 2 - Description of experimental scenarios

Scenario	Description
bilingual	Joint training and testing on Kazakh and Russian texts
kk_only	Training and testing only on Kazakh texts

ru_only	Training and testing only on Russian texts
cross_kk_to_ru	Training on the Kazakh train split and testing on all Russian texts
cross_ru_to_kk	Training on the Russian train split and testing on all Kazakh texts

In the bilingual regime, the train, validation and test split was stratified by language and label; in kk_only and ru_only, stratification was performed by label. The train, validation and test proportions were approximately 70%, 15% and 15%. In cross-lingual regimes, the model was trained on the train portion of one language and tested on all 904 texts of the other language. Random seed = 42 was used in all scenarios. The data were first cleaned and balanced and only then split; the validation split was kept to preserve the experimental protocol rather than to conduct extensive hyperparameter search.

Features and Models

TF-IDF representation was used to map text into a vector space. Two feature types were tested: word-level n-grams and character-level n-grams. In the word-level setting, unigram and bigram features were used; in the character-level setting, character n-grams of length 3-5 were applied. Character n-grams may help capture word inflection, suffixes, short recurring patterns and orthographic similarities in Kazakh and Russian texts.

Five baseline models were considered for comparison:

Table 3 - Compared TF-IDF baseline models

Model name	Feature type	Classifier
word_tfidf_logreg	Word TF-IDF, 1-2 n-grams	Logistic Regression
char_tfidf_logreg	Character TF-IDF, 3-5 n-grams	Logistic Regression
word_tfidf_svm	Word TF-IDF, 1-2 n-grams	Linear SVM
char_tfidf_svm	Character TF-IDF, 3-5 n-grams	Linear SVM
word_tfidf_cnb	Word TF-IDF, 1-2 n-grams	Complement Naive Bayes

For Logistic Regression and Linear SVM, the class weight balanced parameter was selected. The

word-level TF-IDF space was limited to 100,000 features, while the character-level TF-IDF space was limited to 120,000 features. The minimum frequency was set to min_df = 2, and sublinear_tf was used for Logistic Regression and Linear SVM. The experiments were conducted using scikit-learn. Because the vectorizer and classifier were trained inside a single Pipeline, both the vocabulary and TF-IDF weights were formed only on the train split; test texts did not participate in the training stage.

TF-IDF was deliberately selected as a baseline. Its advantages are computational simplicity, relative interpretability and its ability to provide an initial measurement for low-resource languages. However, this method does not map Kazakh and Russian words into a shared semantic space. Therefore, cross-lingual results may be shaped by shared topics, stylistic patterns, symbolic elements or class-specific word usage rather than semantic understanding. This condition was treated as a key interpretive limitation of the results.

Evaluation Metrics

Model quality was measured using Accuracy, Precision, Recall and F1-score. Macro-F1 was selected as the main comparison metric because it combines the F1 values of the fake and real classes with equal weight. This is especially important in cross-lingual regimes: a model may become biased toward one class and perform poorly on the other, while Accuracy may hide such imbalance. Confusion matrix results were additionally provided to explain the direction in which errors accumulated.

3.5 Reproducibility and Bias Control

To ensure reproducibility, data splitting and the stochastic components of the models were fixed with seed = 42. All models were compared under the same scenarios and using the same textual fields. This helps assess differences between models fairly, but it does not fully neutralize topic and source differences inside the corpus.

When analyzing the results, three potential sources of bias were considered. Source bias may arise because fake and real texts come from different types of websites. Topic bias becomes stronger when the topic distributions of the two classes differ. Temporal bias may lead to overestimation of future generalization when train and test texts are close in time. For this reason, the high metrics were interpreted as controlled baseline results rather than as production-level accuracy.

Result and Discussion

The aggregated experimental results are shown in Table 4. The highest quality was observed in monolingual and bilingual regimes. In the bilingual scenario, word_tfidf_svm and char_tfidf_svm produced the same

result: Accuracy = 0.9853 and Macro-F1 = 0.9853. In the Kazakh-only evaluation, word_tfidf_logreg and word_tfidf_svm reached Macro-F1 = 0.9853. In the Russian-only scenario, the best result was obtained by word_tfidf_svm.

Table 4 - Best results by experimental scenario

Scenario	Best model	Accuracy	Macro-F1
bilingual	word_tfidf_svm	0.9853	0.9853
kk_only	word_tfidf_logreg	0.9853	0.9853
ru_only	word_tfidf_svm	0.9853	0.9853
cross_kk_to	word_tfidf_	0.6869	0.6540

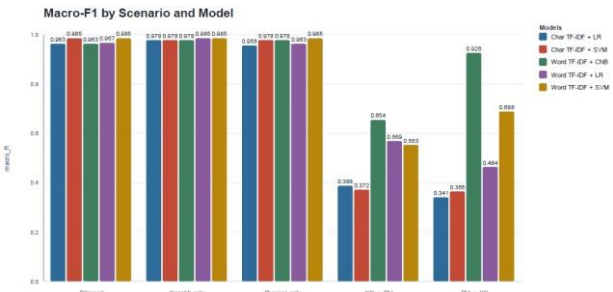


Figure 1 - Macro-F1 scores by experimental scenario

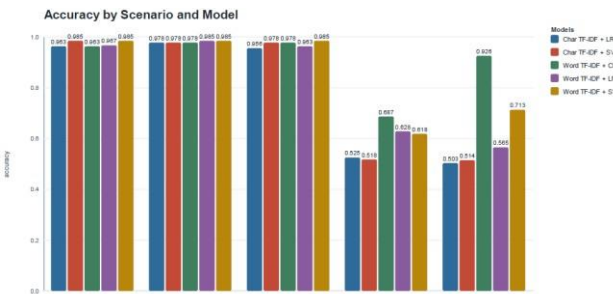


Figure 2 - Accuracy scores by experimental scenario

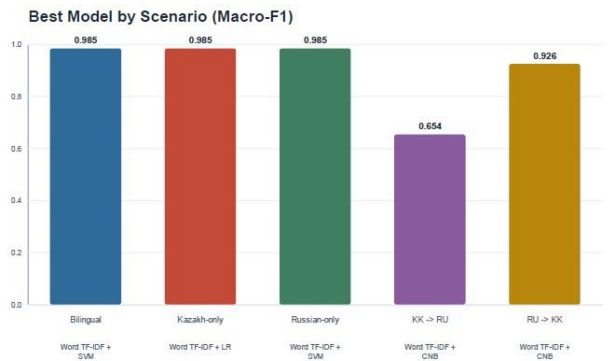


Figure 3 - Macro-F1 scores of the best models in each scenario

Figure 4 - F1 scores for fake and real classes in the best models

In the bilingual regime, the best model correctly classified 268 out of 272 test texts. In the Fake class, 134 texts were detected correctly and 2 texts were labeled as real; in the Real class, 134 texts were also detected correctly and 2 texts were misclassified as fake. The equal distribution of errors across the two classes does not indicate a clear bias toward one class.

Bilingual

Word TF-IDF + SVM



Fake F1 vs Real F1 for Best Model per Scenario

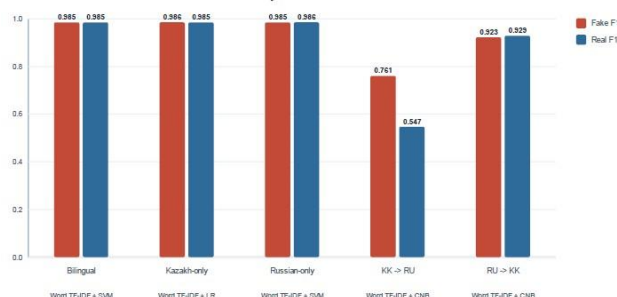


Figure 5 - Confusion matrix of the best model in the bilingual scenario

In the Kazakh-only scenario, 134 of 136 test texts were classified correctly. In this regime, all fake texts were detected, while 2 real texts were labeled as fake. In the Russian-only evaluation, 134 of 136 texts were also detected correctly, but the error direction was different: all real texts were preserved, while 2 fake texts were recognized as real.

In cross-lingual regimes, the result clearly depended on direction. In the cross_kk_to_ru scenario, where the model was trained on the Kazakh train split and tested on Russian texts, the best result was obtained by word_tfidf_cnb: Accuracy = 0.6869, Macro-F1 = 0.6540. The confusion matrix showed that this model captured

KK -> RU

Word TF-IDF + CNB



Figure 6 - Confusion matrix of the model trained on Kazakh and tested on Russian

In contrast, the cross_ru_to_kk scenario, where the model was trained on the Russian train split and tested on Kazakh texts, produced a much more stable result. In this regime, word_tfidf_cnb was also the best model: Accuracy = 0.9259 and Macro-F1 = 0.9257. Of the 904 test texts, 837 were classified correctly; 399 of 452 fake Kazakh texts and 438 of 452 real Kazakh texts were correctly detected.

fake Russian texts better, but often labeled real Russian texts as fake: 450 of 452 fake texts were detected correctly, while 281 of 452 real texts were incorrectly assigned to the fake class.

RU -> KK

Word TF-IDF + CNB



Figure 7 - Confusion matrix of the model trained on Russian and tested on Kazakh

Error Analysis

The confusion matrices show more clearly in which class the model weaknesses are concentrated. In monolingual and bilingual regimes, errors were few and were distributed almost evenly between the two classes. In the cross_kk_to_ru scenario, the main problem was the transfer of real Russian texts into the fake class: 281 of 452 real texts were labeled as fake. This suggests that fake signals learned from the Kazakh train set may overlap with some stylistic or topical patterns in real Russian news.

In the cross_ru_to_kk regime, the error structure was more balanced: 399 of 452 fake texts and 438 of 452 real texts were recognized correctly. This result suggests a working hypothesis that the Russian train set may have covered the general fake/real distinctions present in the Kazakh test texts more broadly. However, this conclusion should not be treated as final; it should be further checked using source-based splitting, topic-controlled splitting and manual error analysis.

CONCLUSION

This paper evaluated machine learning models based on TF-IDF features for detecting fake/real texts in Kazakh and Russian under five experimental scenarios. The balanced bilingual corpus contained 1,808 texts and preserved equal proportions by language and class. Logistic Regression, Linear SVM and Complement Naive Bayes were compared under the same evaluation protocol; the obtained results were interpreted as an explainable baseline.

In monolingual and bilingual regimes, the models showed high quality: in the bilingual, kk_only and ru_only scenarios, Macro-F1 was approximately 0.985.

This demonstrates that TF-IDF-based linear models can serve as a strong baseline for Kazakh-Russian fake news detection. At the same time, such high performance does not mean that factual verification is fully solved, because the model may rely on text style, topic and source signals. Cross-lingual evaluation revealed a directional difference: Kazakh-to-Russian transfer yielded Macro-F1 = 0.654, whereas Russian-to-Kazakh transfer yielded Macro-F1 = 0.926.

Future work should expand the corpus, apply source-based splitting, use temporal splitting and strengthen control over near-duplicate and event-level overlap. It is also important to compare multilingual transformer models such as XLM-RoBERTa and multilingual BERT with this baseline under the same protocol. Extending the binary fake/real label with multi-level annotation such as disinformation technique, author intent, target audience and evidence would also increase the applied and explanatory value of the research.

The authors declare no conflict of interest.

Copyright © 2026 by the author(s). This article is published as Open Access under the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International \(CC BY-SA 4.0\)](#) license. This license permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. Derivative works must be distributed under the same license

REFERENCES

- [1] Hamed S.K., Ab Aziz M.J., Yaakub M.R. A review of fake news detection approaches: A critical analysis of relevant studies and highlighting key challenges associated with the dataset, feature representation, and data fusion // *Heliyon*. - 2023. - Vol. 9, No. 10. - Article e20382. - DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20382>
- [2] Gupta A., Srikumar V. X-Fact: A new benchmark dataset for multilingual fact checking // *Proceedings of the 59th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics and the 11th International Joint Conference on Natural Language Processing (Volume 2: Short Papers)*. - 2021. - P. 675-682. - DOI: <https://doi.org/10.18653/v1/2021.acl-short.86>
- [3] Harris S., Hadi H.J., Ahmad N., Alshara M.A. Fake news detection revisited: An extensive review of theoretical frameworks, dataset assessments, model constraints, and forward-looking research agendas // *Technologies*. - 2024. - Vol. 12, No. 11. - Article 222. - DOI: <https://doi.org/10.3390/technologies12110222>
- [4] Providel E., Mendoza M., Solar M. Cross-lingual cross-domain transfer learning for rumor detection // *Future Internet*. - 2025. - Vol. 17, No. 7. - Article 287. - DOI: <https://doi.org/10.3390/fi17070287>
- [5] Thibault C., Tian J.-J., Péloquin-Skulski G., Curtis T.L., Zhou J., Laflamme F., Guan Y., Rabbany R., Godbout J.-F., Pelrine K. A guide to misinformation detection data and evaluation // *Proceedings of the 31st ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. - 2025. - P. 5801-5809. - DOI: <https://doi.org/10.1145/3711896.3737437>
- [6] Sambetbayeva M., Nekessova A., Yerimbetova A., Bayangali A., Kaldarova M., Telman D., Smailov N. A multi-level annotation model for fake news detection: Implementing Kazakh-Russian corpus via Label Studio // *Big Data and Cognitive Computing*. - 2025. - Vol. 9, No. 8. - Article 215. - DOI: <https://doi.org/10.3390/bdcc9080215>

- [7] Telman D., Yerimbetova A., Sambetbayeva M., Bolatov B. Cross-lingual and multilingual approaches to fake news detection in the Kazakh language // *Procedia Computer Science*. - 2026. - Vol. 275. - P. 708-715. - DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2026.01.082>
- [8] Galli A., Masciari E., Moscato V., Sperlí G. A comprehensive benchmark for fake news detection // *Journal of Intelligent Information Systems*. - 2022. - Vol. 59. - P. 237-261. - DOI: <https://doi.org/10.1007/s10844-021-00646-9>
- [9] De A., Bandyopadhyay D., Gain B., Ekbal A. A transformer-based approach to multilingual fake news detection in low-resource languages // *ACM Transactions on Asian and Low-Resource Language Information Processing*. - 2021. - Vol. 21, No. 1. - Article 9. - DOI: <https://doi.org/10.1145/3472619>
- [10] Dementieva D., Panchenko A. Cross-lingual evidence improves monolingual fake news detection // *Proceedings of the 59th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics and the 11th International Joint Conference on Natural Language Processing: Student Research Workshop*. - 2021. - P. 310-320. - DOI: <https://doi.org/10.18653/v1/2021.acl-srw.32>
- [11] Dementieva D., Kuimov M., Panchenko A. Multiverse: Multilingual evidence for fake news detection // *Journal of Imaging*. - 2023. - Vol. 9, No. 4. - Article 77. - DOI: <https://doi.org/10.3390/jimaging9040077>
- [12] Alghamdi J., Lin Y., Luo S. Machine learning and deep learning approaches for fake news detection and related topics in multilingual contexts: A systematic literature review // *Multimedia Tools and Applications*. - 2026. - Vol. 85. - Article 353. - DOI: <https://doi.org/10.1007/s11042-026-21238-1>
- [13] Shu K., Sliva A., Wang S., Tang J., Liu H. Fake news detection on social media: A data mining perspective // *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*. - 2017. - Vol. 19, No. 1. - P. 22-36. - DOI: <https://doi.org/10.1145/3137597.3137600>
- [14] Zhou X., Zafarani R. A survey of fake news: Fundamental theories, detection methods, and opportunities // *ACM Computing Surveys*. - 2020. - Vol. 53, No. 5. - Article 109. - DOI: <https://doi.org/10.1145/3395046>
- [15] Vosoughi S., Roy D., Aral S. The spread of true and false news online // *Science*. - 2018. - Vol. 359, No. 6380. - P. 1146-1151. - DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aap9559>
- [16] Wang W.Y. Liar, liar pants on fire: A new benchmark dataset for fake news detection // *Proceedings of the 55th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 2: Short Papers)*. - 2017. - P. 422-426. - DOI: <https://doi.org/10.18653/v1/P17-2067>
- [17] Thorne J., Vlachos A., Christodoulopoulos C., Mittal A. FEVER: A large-scale dataset for fact extraction and verification // *Proceedings of NAACL-HLT 2018*. - 2018. - P. 809-819. - DOI: <https://doi.org/10.18653/v1/N18-1074>
- [18] Shu K., Mahudeswaran D., Wang S., Lee D., Liu H. FakeNewsNet: A data repository with news content, social context, and spatiotemporal information for studying fake news on social media // *Big Data*. - 2020. - Vol. 8, No. 3. - P. 171-188. - DOI: <https://doi.org/10.1089/big.2020.0062>
- [19] Devlin J., Chang M.-W., Lee K., Toutanova K. BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding // *Proceedings of NAACL-HLT 2019*. - 2019. - P. 4171-4186. - DOI: <https://doi.org/10.18653/v1/N19-1423>
- [20] Conneau A., Khandelwal K., Goyal N., Chaudhary V., Wenzek G., Guzmán F., Grave E., Ott M., Zettlemoyer L., Stoyanov V. Unsupervised cross-lingual representation learning at scale // *Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*. - 2020. - P. 8440-8451. - DOI: <https://doi.org/10.18653/v1/2020.acl-main.747>

IT-технологиялар, энергетика, автоматтандыру және есептеу техникасы.

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/140>

GROUP QUARKS AND STANDARD MODEL

**Shayakhmetova G. A., Temirkhanova D. N., Karipbaeva A. R.*

Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan

** Correspondent's E-mail: omarovadin701@gmail.com*

Author information:

Shayakhmetova G. A., Karaganda Industrial University, 101400, Republic Avenue, 30, Temirtau, Karaganda region, Kazakhstan, e-mail: temirkhanova-2020@mail.ru

Temirkhanova D. N., Karaganda Industrial University, 101400, Republic Avenue, 30, Temirtau, Karaganda region, Kazakhstan, e-mail: omarovadin701@gmail.com

Karipbaeva A. R., Karaganda Industrial University, 101400, Republic Avenue, 30, Temirtau, Karaganda region, Kazakhstan, e-mail: temirkhanova-2020@mail.ru

Abstract — The article discusses the theoretical foundations of the physics of the top quark as the most massive elementary particle of the Standard Model. The processes of top quark generation and decay are analyzed within the framework of the Standard Model and its possible extensions. Special attention is paid to anomalous top-quark interactions, which can serve as indicators of new physics beyond the Standard Model. The Lagrangians of standard and anomalous interactions based on the effective field theory (SMEFT) approach, which allows describing possible deviations from the predictions of the Standard Model in a model-independent form, are considered. The main mechanisms of top-quark formation at modern hadron colliders, including pair and single generation, as well as the role of higher-order perturbation theory in improving the accuracy of theoretical calculations, are analyzed. It is shown that the high sensitivity of the characteristics of the top quark to new physical effects makes it an important tool for verifying the fundamental provisions of the Standard Model and searching for new interactions. The results obtained confirm the prospects of using effective field theory to study anomalous connections at the Wtb vertex and evaluate constraints on the parameters of new physics based on current and future experiments at the LHC, FCC, and ILC colliders.

Keywords — top quark, Standard Model, new physics, effective field theory (SMEFT), anomalous interactions, Lagrangian, Wtb vertex, quantum chromodynamics, top quark decay, Large Hadron Collider (LHC).

ТОП КВАРКТАР ЖӘНЕ СТАНДАРТТЫ МОДЕЛЬ

**Шаяхметова Г. А., Темірханова Д. Н., Карипбаева А. Р.*

Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан

**Корреспондент E-mail: omarovadin701@gmail.com*

Авторлар туралы ақпарат:

Шаяхметова Г. А., Қарағанды индустриялық университеті, 101400, Республика даңғылы, 30, Теміртау, Қарағанды облысы, Қазақстан, e-mail: temirkhanova-2020@mail.ru

Темірханова Д. Н., Қарағанды индустриялық университеті, 101400, Республика даңғылы, 30, Теміртау, Қарағанды облысы, Қазақстан, e-mail: omarovadin701@gmail.com

Карипбаева А. Р., Қарағанды индустриялық университеті, 101400, Республика даңғылы, 30, Теміртау, Қарағанды облысы, Қазақстан, e-mail: temirkhanova-2020@mail.ru

Абстракт — Мақалада стандартты модельдің ең массивті элементар бөлшегі ретінде топ-кварк физикасының теориялық негіздері қарастырылады. Стандартты модель және оның ықтимал кеңеюі аясында топ-кварктың туу және ыдырау процестеріне талдау жасалды. Стандартты модельден тыс жаңа физиканың индикаторы бола алатын жоғарғы кварктың аномальды өзара әрекеттесуіне ерекше назар аударылады. Өрістің тиімді теориясының (SMEFT) тәсіліне негізделген стандартты және қалыптан тыс өзара әрекеттесулердің лагранждары қарастырылады, бұл стандартты модель болжамдарынан ықтимал ауытқуларды модельдік тәуелсіз түрде сипаттауға мүмкіндік береді. Қазіргі заманғы адрон коллайдерлерінде топ-кварктардың пайда болуының негізгі механизмдері, соның ішінде жұптасқан және жалғыз туылу, сондай-ақ теориялық есептеулердің дәлдігін арттырудағы бұзылу теориясының жоғары

реттерінің рөлі талданды. Топ-кварк сипаттамаларының Жаңа физикалық әсерлерге жоғары сезімталдығы оны стандартты модельдің іргелі позицияларын тексеру және жаңа өзара әрекеттесулерді табу үшін маңызды құралға айналдыратыны көрсетілген. Нәтижелер Wtb шыңындағы қалыптан тыс байланыстарды зерттеу және LHC, FCC және ILC коллайдерлеріндегі заманауи және болашақ эксперименттерге сәйкес жаңа физика параметрлерінің шектеулерін бағалау үшін тиімді өріс теориясын қолдану перспективасын қолдайды.

Кілт сөздер — жоғарғы кварк, стандартты модель, жаңа физика, тиімді өріс теориясы (SMEFT), аномальды өзара әрекеттесу, Лагранж, Wtb шыңы, кванттық хромодинамика, жоғарғы кварктың ыдырауы, Үлкен адрон коллайдері (LHC).

ГРУППА КВАРКИ И СТАНДАРТНАЯ МОДЕЛЬ

**Шаяхметова Г. А., Темірханова Д. Н., Карипбаева А. Р.*

Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

** E-mail корреспондента: omarovadin701@gmail.com*

Информация об авторах:

Шаяхметова Г. А., Карагандинский индустриальный университет, 101400, проспект Республики, 30, Темиртау, Карагандинская область, Казахстан, e-mail: temirkhanova-2020@mail.ru

Темірханова Д. Н., Карагандинский индустриальный университет, 101400, проспект Республики, 30, Темиртау, Карагандинская область, Казахстан, e-mail: omarovadin701@gmail.com

Карипбаева А. Р., Карагандинский индустриальный университет, 101400, проспект Республики, 30, Темиртау, Карагандинская область, Казахстан, e-mail: temirkhanova-2020@mail.ru

Аннотация — В статье рассмотрены теоретические основы физики топ-кварка как наиболее массивной элементарной частицы Стандартной модели. Проведен анализ процессов рождения и распада топ-кварка в рамках Стандартной модели и ее возможных расширений. Особое внимание уделено аномальным взаимодействиям топ-кварка, которые могут служить индикаторами новой физики за пределами Стандартной модели. Рассмотрены лагранжианы стандартных и аномальных взаимодействий, основанные на подходе эффективной теории поля (SMEFT), позволяющем описывать возможные отклонения от предсказаний Стандартной модели в модельно-независимой форме. Проанализированы основные механизмы образования топ-кварков на современных адронных коллайдерах, включая парное и одиночное рождение, а также роль высших порядков теории возмущений в повышении точности теоретических расчетов. Показано, что высокая чувствительность характеристик топ-кварка к новым физическим эффектам делает его важным инструментом для проверки фундаментальных положений Стандартной модели и поиска новых взаимодействий. Полученные результаты подтверждают перспективность применения эффективной теории поля для исследования аномальных связей в вершине Wtb и оценки ограничений на параметры новой физики по данным современных и будущих экспериментов на коллайдерах LHC, FCC и ILC.

Ключевые слова — топ-кварк, Стандартная модель, новая физика, эффективная теория поля (SMEFT), аномальные взаимодействия, лагранжиан, вершина Wtb , квантовая хромодинамика, распад топ-кварка, Большой адронный коллайдер (LHC).

НЕГІЗГІ ЕРЕЖЕЛЕР

Жоғарғы кварктың ауытқуын өлшеуіш инварианттық бағалау SM мәнінен ені әртүрлі кинематикалық түрде алынады аймақтар. Қос резонансты аймақтағы жоғарғы кварк өндірісінің көлденең қимасы δ -ға ең сезімтал екені көрсетілген. параметр, ол тек жоғарғы кварк енін өзгертеді. Резонанстық емес аймақтағы сенімді көлденең қимасы бар амплитудалық алымдағы Wtb муфтасының модификациясы арқылы ϵ параметріне сезімталдық. Бір резонанстық аймақтың екі параметрге де салыстырмалы сезімталдығы бар өйткені δ параметрі жоғарғы кварк енін өзгертеді және ϵ параметрі жоғарғы кварк енін де, Wtb муфтасын да өзгертеді.

тәуелділігінің елеулі айырмашылығы ϵ бойынша DR, SR және NR аймақтарындағы сенімді көлденең қималар және δ параметрлері осы зерттеудің негізгі бақылауларының бірі болып табылады.

Бұл факт δ және ϵ үшін біріктірілген шектеулерді қоюға мүмкіндік береді параметрлерді бір уақытта және алу үшін осы шектеулерді пайдалану жоғарғы кварк еніндегі шектеулер. Қол жеткізуге болатын шектеулер модельден тәуелсіз жолмен жоғарғы кварк ені бар сәйкес 23%-дан 12%-ға дейін бағаланады эксперименттік дәлдік 10%-дан 5%-ға дейін. Бұл нәтижелер барлық дәлсіздіктер болған кезде оңайлатылған тәсіл арқылы алынады болжамды жалпы жүйелілікке кодталған белгісіздік. Адронизация сияқты барлық әсерлерді

егжей-тегжейлі зерттеу және фрагментация, детекторлық жауап, сонымен қатар фонның әсері ағымның ауқымынан тыс тек негізгі ой көрсетілген кезде жеңілдетілген зерттеу. Жоғарыда аталған әсерлердің егжей-тегжейлері кейінге қалдырылды келесі нақтырақ талдау.

Топ кварк - барлық дерлік СМ кеңейтімдерінің негізгі элементі. Біз t -кваркты зерттеу жаңа

ашылуларға әкелетін және зат тереңдігі құрылымын түсінуде жаңа қадам жасауға мүмкіндік беретін портал бола береді деп күтеміз. Бұл сонымен қатар Әлемнің құрылымын түсінудің сапалы жаңа деңгейін білдіреді, өйткені ол дүниеге келгеннен кейінгі алғашқы сәтте Әлемде әртүрлі процестер, атап айтқанда, t -кваркпен байланысты процестер жүреді.

1. Топ-кварктың каналдарындағы әртүрлі аномальды әрекеттесулерін сипаттау үшін тиімді өріс теориясының формализміне негізделген әмбебап тәсілді меңгеру.

2. Аномальды өзара әрекеттесу тиімді лагранжиан қолдана отырып, модельден тәуелсіз түрде сипаттау мүмкіндігін зерттеу.

3. СМ өлшеу тобына қатысты өлшемсіз-инвариантты болатын SMEFT әдісті меңгеру және оны зерттеулерге қолдану.

КІРІСПЕ

Зерттеу тақырыбының өзектілігі: бұл зерттеу жобасы модельдік-тәуелсіз және өлшеуіш-инвариантты әдіс аясында t -кварк ыдырауын зерттеуге арналған. Біздің болжамдарымыз қолданыстағы және жоспарланған LHC коллайдеріндегі CMS және ATLAS коллаборацияларымен жүргізілетін және болашақта ЦЕРН-дегі FCC жобасындағы, сонымен қатар болашақтағы ILC сызықтық электрон-позитрондық коллайдеріндегі тәжірибелермен тығыз байланысты болады.

Жұмыстың мақсаты: мүмкін болатын қарапайым емес өзара әрекеттесулерді ескере отырып, үшінші буын кварктарының, соның ішінде топ-кварктың қасиеттерін зерттеу.

Жұмыстың міндеттері: жоғары энергияда ыдыраудың енін және ыдыраудың басқа да сипаттамаларын есептеу, сонымен қатар әртүрлі қалыптан тыс параметрлерде энергия мен бұрыштан тәуелді кинематикалық таралуларды сипаттау жобаның негізгі мәселесі болып табылады. Ол үшін келесідей жұмыстар жоспарланған:

–қалыптан тыс үлестерін ескере отырып топ-кварктың $t \rightarrow Wb$ енін есептеу;

–SMEFT тәсілінде 6 өлшемді базисті қалыптан тыс оператор коэффициенттерінен t -кварк әсерлесу параметрлерінің аналитикалық тәуелділігін қорытындылау;

Зерттеу нысаны: топ-кварк және оның ыдыраулары.

Зерттеу пәні: кванттық хромодинамика негізінде топ-кварк және оның ыдырауларын зерттеу.

Зерттеудің теориялық және практикалық маңыздылығы: Соңғы онжылдықтағы электро әлсіз әсерлесулердегі (ЭӘ) және кванттық хромодинамикадағы (КХД) пертурбативті есептеулердегі прогресстерді мойындаған жөн. Бұл жаңа сатылы әдістер мен компьютерлік алгоритмдерді көп деңгейлі түзетулердің арқасында мүмкін болды. Бүгінгі таңда теориялық есептеулердің дәлдігі көбінесе эксперименттік өлшеулердің дәлдігінен кем болмайды және екі бағытта одан әрі ілгерілеу күтілуде.

СМ болжамдары элементар бөлшектер физикасының көптеген эксперименттік нәтижелерімен сәйкес келетіндігін атап өткен жөн.

Сирек ыдырау, атап айтқанда, бейтарап токтардың иісінің өзгеруіне байланысты, физикаға СМ-ден тыс әсерлерді зерттеуге мүмкіндік береді.

Ең ерекше кварк болып t -кварк саналады, ол Тэватрон үдеткішінде, D0 және CDF коллобациясында ашылған. Топ кварк барлық белгілі элементар бөлшектердің ең үлкен массасына ие, эмпирикалық тұрғыдан оның бірінші және екінші буын кварктарымен әлсіз араласатындығы белгілі.

t -кварк ыдырауын зерттеу заманауи бөлшектер физикасының негізгі бағыты болып табылады. Жалпы, адрондар кварктар мен глюондардан тұрады - кванттық хромодинамиканың негізгі еркіндік дәрежелері. t -кварк бар адрондар табиғатта өмір сүре алмайды, өйткені t -кварктың өмір сүруі уақыты түссіз байланыстырылған күйлердің пайда болу уақытына қарағанда әлдеқайда қысқа. Адрондар t -кварктың ыдырау өнімдерімен түзілуі мүмкін. t кварктың фундаменталды әрекеттесулерінің құрылымын зерттеу үлкен қызығушылық тудырады, өйткені адронизация эффектілері оларға қатыспайды.

Алайда, адрондардың сандық сипаттамасы және олардың өзара әрекеттестігі кванттық хромодинамиканың бұзылу теориясы аясынан шығып кетеді және жаңа сандық әдістерді қолдануды талап етеді.

Жаңа физиканың (ЖФ) ең айқын көріністерінің бірі иісін өзгертетін бейтарап токтармен

процестерде t-кварктың аномальды өзара әрекеттесуін байқауға болады. СМ-де мұндай процестер ыдырау ықтималдығы өте төмен цикл диаграммаларының үлесін ескере отырып жүреді, бұл олардың тәжірибелік бақылау мүмкіндігін айтарлықтай қиындатады.

СМ-дің әр түрлі кеңеюі осындай өзара әрекеттесудің едәуір айтарлықтай болжайды, бұл ЖФ іздеуді келешегін айқын етеді.

МАТЕРИАЛДАР МЕН ӘДІСТЕР

1.1 СМ шеңберіндегі топ-кварктардың өзара әрекеттесуіндегі лагранжианы

Өрістің кванттық теориясының формализмі шеңберінде, ал Стандартты модель дегеніміз өрістің кванттық теориясы, -кварктардың өзара әрекеттесуінің барлық ережелері (өзара әрекеттесу шырдары және сәйкес Фейнман ережелері) Лагранж немесе жай Лагранжиан деп аталатын функциясынан алынған. Мысалы, -кварктардың глюонмен өзара әрекеттесуі және -өзара әрекеттесуі келесі өрнектермен сипатталады:

$$L_{SM}(tgt) = \bar{\psi}_t \hat{O}_g^{\mu,a} \psi_t G_{a,\mu}; \quad \hat{O}_g = g_s t^a \gamma^\mu \quad (1)$$

$$L_{SM}(tWq) = \bar{\psi}_q \hat{O}_W \psi_t; \quad (2)$$

$$\hat{O}_W = \frac{e}{2\sqrt{2} \sin \theta_W} V_{tb} \gamma^\mu (1 - \gamma^5) W_\mu \frac{e}{2\sqrt{2} \sin \theta_W} = M_W \sqrt{\frac{G_F}{2}}$$

(3) өрнекте t -кварктың фермиондық өрісінің сол жақ компоненті ғана өзара әрекеттесуге қатысатындығына сәйкес келетін матрица $(1 - \gamma^5)$ екеніне тағы назар аударыңыз. t -кварктың СМ шеңберіндегі өзара әрекеттесуінің лагранжианы келесі түрге ие (қараңыз [1, 19]):

$$L_{SM} = -\frac{y_t}{\sqrt{2}} \bar{t} t H - g_s \bar{t} \gamma^\mu t^a t G_\mu^a - \frac{g}{\sqrt{2}} \sum_{q=d,s,b} \frac{V_{tq}}{2} \bar{t} (1 - \gamma_5) q W_\mu^+ - Q_t e \bar{t} \gamma^\mu t A_\mu - \frac{g}{2 \cos \theta_W} \bar{t} \gamma^\mu \left[\left(\frac{1}{2} - 2Q_t \sin^2 \theta_W \right) - \frac{1}{2} \gamma_5 \right] t Z_\mu + h.c.$$

Мұндағы g_s, e және g күшті, электромагниттік және әлсіз өзара әрекеттесудің тұрақтылығы, $Q_1 = +2/3$

$$y_t = \sqrt{2} \frac{m_t}{v_{ew}}, v_{ew} \approx 246 \text{ ГэВ} \quad (4)$$

мұндағы - электрлік әлсіздік шкаласы – Хиггс өрісінің вакуумдық орташа мәні.

1.2 Топ-кварктардың аномальдық өзара әрекеттесуіндегі лагранжианы

Қазіргі уақытта Жаңа Физиканың қай түрі (ЖФ - Стандартты модельден тыс жаңа физика) стандартты модельдің болжамдарынан ауытқуы үшін жауап беретіні белгісіз. СМ кеңеюінің әртүрлі сценарийлері (мысалы, SUSY) -кварктың түзілуі мен ыдырауының жаңа тетіктерін болжауға алып келеді. Осылайша, жаңа тетіктердің эксперименталды ашылуы немесе сирек процестердің күшеюі СМ шеңберінен тыс физиканың бар екенін көрсетеді.

СМ кеңеюінің көптеген сценарийлері -кварк секторында өзара әрекеттесу типтері мен параметрлерінің өзіндік жиынтығымен (байланыстырушы тұрақтылықтар, жаңа объектілер массалары) әр түрлі болжамдарға әкеледі. Алайда, көбінесе әртүрлі сценарийлер бірдей немесе өте ұқсас эффекттерді болжайды, бірдей соңғы күйдегі процестерге немесе, олар айтқандай, қолтаңбаларға әкеледі. Мұндай сценарийлер саны өте көп!

t-кварктардың әртүрлі аномальды өзара әрекеттесулерін сипаттау үшін тиімді өріс теориясының формализміне негізделген әмбебап тәсіл [2] кеңінен қолданылады. Мұндай аптада -кварктардың аномальды өзара әрекеттесулері тиімді (феноменологиялық) лагранжды қолдану арқылы модельге тәуелді емес түрде сипатталады [1, 11, 7]. Бұл Лагранж СМ калибрлі тобына қатысты инвариантты болуы керек (әйтпесе, енгізілген аномальды өзара іс-қимылдар заманауи дәлдік өлшемдерімен қарама-қайшылықтарға әкеліп соқтырады) және ЖФ шкаласының бұрынғыдан да жоғары күштерімен басылатын өлшемдердің ұлғаюымен біркатар терминдерден тұрады, олар қолданыстағы шектеулерден туындайтындай, айтарлықтай үлкен болуы керек электрлік әлсіздік шкаласы - Хиггстің вакуумдық орташа өрісі $v_{ew} = 246 \text{ ГэВ}$

$$L = L_{SM} + \sum_i \frac{c_i^{(6)}}{\Lambda^2} O_i^{(6)} + \sum_i \frac{c_i^{(8)}}{\Lambda^2} O_i^{(8)} + \dots \quad (5)$$

Тиімді Лагранждың шарттары $O_i^{(N)}$ инвариантты операторлардың көбейтіндісінен және сәйкес $c_i^{(N)}$ коэффициенттерінен тұрады. Жоғарғы кварктың басқа СМ нөлдерімен өзара әрекеттесуіне ықпал ететін ең төменгі 6 өлшемді операторлардың толық жиынтығы шолуда келтірілген [22]. Бұл

операторлар жиынтығы Варшава деп аталатын базаға сәйкес келеді [23].

Тиімді нөлдік теорияның (EFT) шеңберінде жалпы өлшеуіштен және Лоренцтің инвариантты кеңеюінен туындайтын аномальды t -кварк өзара әрекеттесулерінің лагранжианы, бірақ өздігінен симметрия бұзылғаннан кейінгі операторлар келесі түрде ұсынылуы мүмкін:

$$L_{EFT} = L_{SM} + k_4 \bar{\psi}_q \hat{O}^{(4)} \psi_t + \frac{k_5}{\Lambda} \bar{\psi}_q \hat{O}^{(5)} \psi_t + \frac{k_6}{\Lambda^2} \bar{\psi}_q \hat{O}^{(6)} \psi_t + \dots \quad (6)$$

мұнда Λ - ЖФ масштабты параметрі, $k \cdot v_{ew}^2 / \Lambda^2$ шынайы үлкендігі бар аномальды тұрақтылар.

Тиімді өлшемді-инварианттық Лагранждарды салу мәселесі алдыңғы жұмыстарда да зерттелген (мысалы, қараңыз [2U, 24, 25, 1]). Тарихи себептерге байланысты эксперименттік мәліметтерді талдауда келесі формадағы унитарлық калибрдегі тиімді Лагранжиан кеңінен қолданылады:

$$\left. \begin{aligned} L_{anom} = & -\frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{q=u,c,t} \bar{t} (v_{tq}^H + \gamma_5 a_{tq}^H) q H \\ & - \frac{g}{\sqrt{2}} \bar{t} \gamma^\mu (f_V^L P_L + f_V^R P_R) b W_\mu^+ \\ & - \frac{g}{2 \cos \vartheta_W} \sum_{q=u,c,t} \bar{t} \gamma^\mu (v_{tq}^Z - a_{tq}^Z \gamma_5) q Z_\mu \\ & - g_s \sum_{q=u,c,t} \frac{k_{tq}^g}{\Lambda} \bar{t} \sigma^{\mu\nu} t^a (f_{tq}^g + i h_{tq}^g \gamma_5) q G_{\mu\nu}^a \\ & - \frac{g}{\sqrt{2}} \bar{t} \frac{\sigma^{\mu\nu} \partial_\nu W_\mu^+}{M_W} (f_T^L P_L + f_T^R P_R) b \\ & - e \sum_{q=u,c,t} \frac{k_{tq}^\gamma}{\Lambda} \bar{t} \sigma^{\mu\nu} (f_{tq}^\gamma + i h_{tq}^\gamma \gamma_5) q A_{\mu\nu} \\ & - \frac{g}{2 \cos \vartheta_W} \sum_{q=u,c,t} \frac{k_{tq}^Z}{\Lambda} \bar{t} \sigma^{\mu\nu} (f_{tq}^Z + i h_{tq}^Z \gamma_5) q Z_{\mu\nu} \end{aligned} \right\} + h.c. \quad (7)$$

мұндағы g - әлсіз изоспиннің өлшеуіш тобының байланыс константасы $SU(2)_L$. $P_{L,R} = (1 \pm \gamma_5)/2$, $\sigma_{\mu\nu} = i/2(\gamma_\mu \gamma_\nu - \gamma_\nu \gamma_\mu)$ өріс кернеулігі тензорлары әдеттегідей анықталады ($G_{\mu\nu}^a = \partial_\mu G_\nu^a - \partial_\nu G_\mu^a$, ...); Λ - бірнеше физикалық деңгейдегі жаңа физиканың масштабы; аномалиялық тұрақтылар, әдетте, нақты сандар деп қабылданады, ал «салыстырмалы» тұрақтылар f және h жалпы

жағдайда нормаланған күрделі сандар ретінде қарастырылады:

$$|f|^2 + |h|^2 = 1$$

Еске салайық, Стандартты модель шеңберінде Лагранжиан (b) -дан параметрлердің мәні келесідей:

$$\left. \begin{aligned} v_{tt}^H &= y_t = \sqrt{2} \frac{m_t}{v_{ew}}, a_{tt}^H = 0, a_{tt}^H = 0, \\ v_{tq}^H &= a_{tq}^H = 0, & q \neq t \\ f_V^L &= \frac{V_{tq}}{2} & f_V^R = f_T^L = f_T^R = 0 \\ v_{tt}^Z &= \frac{1}{2} - 2Q_t \sin^2 \vartheta_W, & a_{tt}^Z = \frac{1}{2} \\ v_{tq}^Z &= a_{tq}^Z = 0, & q \neq t \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Бұл тәсілде эксперимент нәтижелері тиімді Лагранждың сәйкес мүшелеріне қарайтын аномальды байланыс константаларының мәндеріне шектеулер түрінде беріледі. Бірқатар жағдайларда алынған шектеулер белгілі бір сирек кездесетін t -кварк ыдырауының ықтималдылық шектері арқылы қайта көрсетіледі.

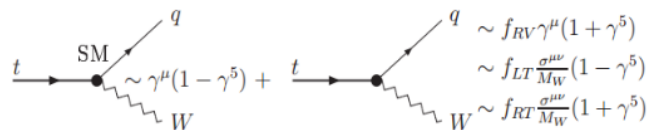
Жоғарыда айтылғандарды түсіндіру үшін tWb шыңындағы осындай аномальды өзара әрекеттесудің типтік (және өте перспективалы) мысалын қарастырайық (3-суретті қараңыз).

СМ-де мұндай шың «сол жақ» t -кварктың өзара әрекеттесуін сипаттайды және формасына ие:

$$L_{SM} = \bar{\varphi}_q \hat{O}_{SM} \psi_t;$$

$$\hat{O}_{SM} = \frac{e}{2\sqrt{2} \sin \vartheta_W} V_{tq} \gamma^\mu (1 - \gamma^5);$$

$$\frac{e}{2\sqrt{2} \sin \vartheta_W} = M_W \sqrt{\frac{G_F}{\sqrt{2}}}$$



Сурет 1. tWb шыңындағы аномальды өзара әрекеттесу

Осындай өзара әрекеттесу үшін Жаңа Физика өзін «дұрыс» токтар ($\sim (1 + \gamma 5)$) және осы шыңдағы аномальды магниттік және электрлік моменттердің қатысуымен көрсете алады. СМ ықтимал ауытқуларын модельден тәуелсіз тәсілмен барлық мүмкін Лоренц-инвариантты құрылымдар түрінде тиімді Лагранжианда кезінде TWb өзара әрекеттесуін енгізуге болады.

TWb шыңындағы ауытқулар 6 өлшемді инвариантты операторлар жиынтығымен сипатталады.

$$O_{\phi q}^{(3,3+3)} = \frac{i}{2} \left[\phi' (\tau^I D_\mu - \overleftarrow{D}_\mu \tau^I) \phi \right] (\bar{q}_{L3} \gamma^\mu \tau^I q_{L3}),$$

$$O_{\phi\phi}^{33} = (\bar{q}_{L3} \sigma^{\mu\nu} \tau^I b_R) \phi W_{\mu\nu}^I,$$

$$O_{\phi\phi}^{33} = i(\phi' D_\mu \phi) (\bar{t}_R \gamma^\mu b_R),$$

$$O_{uW}^{33} = (\bar{q}_{L3} \sigma^{\mu\nu} \tau^I t_R) \phi W_{\mu\nu}^I, \quad (9)$$

мұндағы g_{L3} t және b үшінші кварктардың солақай әлсіз изодоблетін білдіреді. Симметриялықтың өздігінен бұзылуынан кейін бұл операторлар жоғарыда келтірілген Лагранждың бөлігі болып табылатын келесі формадағы тиімді Лагранжианға [5] әкеледі:

$$L = \frac{g}{\sqrt{2}} \bar{b} \gamma^\mu (f_V^L P_L + f_V^R P_R) t W_\mu^- + \frac{g}{\sqrt{2}} \bar{b} \frac{\sigma^{\mu\nu}}{2M_W} (f_T^L P_L + f_T^R P_R) t W_{\mu\nu}^- + h.c. \dots \quad (10)$$

мұнда $W_{\mu\nu}^- = \partial_\mu W_\nu^- - \partial_\nu W_\mu^-$ тең.

$C_{\phi q}^{(3,3+3)}, C_{\phi\phi}^{33}, C_{dW}^{33}, C_{uW}^{33}$ операторындағы

коэффициент (10) келесідей түрде лагранжиандағы аномальдық тұрақтылармен байланысты(11):

$$f_V^L = V_{tb} + C_{\phi q}^{(3,3+3)} \frac{v^2}{\Lambda^2}, \quad f_V^R = \sqrt{2} C_{\phi\phi}^{33} \frac{v^2}{\Lambda^2},$$

$$f_T^L = \sqrt{2} C_{dW}^{33} \frac{v^2}{\Lambda^2}, \quad f_T^R = \sqrt{2} C_{uW}^{33} \frac{v^2}{\Lambda^2}$$

Бұл қатынастар эксперименттік мәліметтерді талдаудан алынған аномальды тұрақтылардағы шектеулерді f_V^L , f_V^R , f_T^L , f_T^R өлшегіш-инвариантты операторлар үшін коэффициенттердің мүмкін мәндерінің шектеріне аударуға мүмкіндік береді.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ

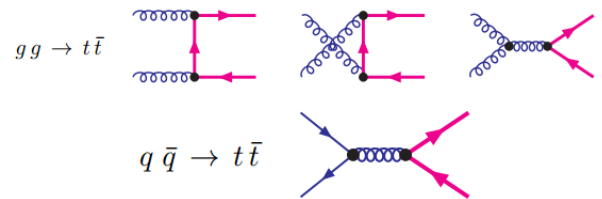
Топ-кварктардың түзілуінің негізгі механизмдері t -кварктың NLO-дағы есептелген толық еніне жақындатқанда [5]:

$$\Gamma_t = \frac{G_F m_t^3}{8\pi\sqrt{2}} \left(1 - \frac{M_W^2}{m_t^2}\right) \left(1 + 2 \frac{M_W^2}{m_t^2}\right) \left[1 - \frac{2\alpha_s}{3\pi} \left(\frac{2\pi^2}{3} - \frac{5}{2}\right)\right] \quad (10)$$

СМ шеңберінде t -кварк өндірісінің адрондық өзара әрекеттесулердегі сәйкес қималары бойынша негізгі механизмдері глюон-глюондық және кварк-антикварктық аннигиляция болып табылады, бұл $t\bar{t}$ жұбының пайда болуына әкеледі (4-суретті қараңыз):

$$gg \rightarrow t\bar{t} \quad (11)$$

$$q\bar{q} \rightarrow t\bar{t} \quad (12)$$



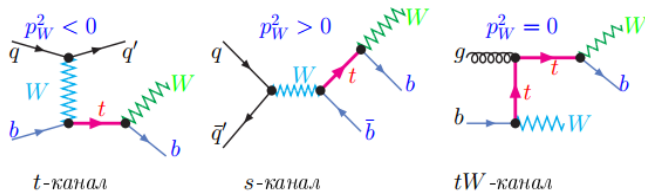
Сурет 2. $t\bar{t}$ - кварктардың пайда болуын сипаттайтын диаграммалар.

Келесі, көлденең қимасы бойынша, электрлік әлсіз («жалғыз») t -кварк өндірісінің процестері. Бұл процестер, әдетте, процеске қатысатын виртуалды W -бозонының 4 импульсінің квадрат шамасына сәйкес жіктеледі (5-суретті қараңыз):

$$qb \rightarrow tq', p_W^2 < 0; t\text{-канал} \quad (13)$$

$$q\bar{q}' \rightarrow t\bar{b}, p_W^2 > 0; s\text{-канал} \quad (14)$$

$$gb \rightarrow tW, p_W^2 = M_W^2; tW\text{-канал} \quad (15)$$



Сурет 3. Электрәлсіз (бір ретті) түзілу процесін сипаттайтын диаграммалар.

Тербеліс теориясының жоғары реттерінің рөлі - кварк түзілу процестерін кейінгі ыдырау процестерін зерттеуде жетекші (Борн) жақындатуға дейінгі тербеліс теориясының күшті және электрлік әлсіз түзетулерінің теориялық есептеулері өте маңызды рөл атқаратынын атап өткен жөн. Түзетулерді есептеудің күрделілігі әрбір жуықтаған сайын өте тез өседі және іс жүзінде көбінесе NLO және NNLO деңгейлерімен шектеледі. Сапалы түрде NLO жуықтауы Борн үлесін және бір контурлы амплитудалардың интерференциясын және глюонның қосымша өрісі немесе амплитуда квадратын соңғы немесе бастапқы күйінде қамтиды. Түзетулерге арналған төлем әр түрлі кинематикалық аймақтардағы жалпы өндіріс қималарын ғана өзгертпейді (fiducial cross section), сонымен қатар сезімтал реакция өнімдерінің үлестірілу формасын біршама өзгертеді. Әрдайым жоғарырақ бұйрықтарды ескеру нәтиженің теориялық дәлдігін жоғарылатуы, масштабтардың тәуелділігін айтарлықтай төмендетуі өте маңызды (ренормализация масштабы және факторизация масштабы), бұл міндетті түрде бұзылу теориясын қолдана отырып есептеулерде пайда болады.

Тербеліс теориясының ретінің жоғарылауымен көлденең қималар мен үлестірімдерді есептеу нәтижелері осы ренормализация/факторизация шкалаларындағы өзгерістерге едәуір тұрақтанады, бұл түзетулердің есептеулері өте маңызды, әсіресе іздеу үшін стандартты үлгіден тыс әсерлер үшін. Егер біз СМ болжамдарынан ауытқуларды табуға тырысатын болсақ, және бүгінгі күні мұндай ауытқулар өте аз екендігі қазірдің өзінде анық болса, онда біз СМ болжамдарын мүмкіндігінше дәл білуіміз керек. Күшті өзара әрекеттесуге арналған NNLO түзетулерін есептеу бойынша соңғы нәтижелер және t-кварктарды жұп өндіруге арналған электрлік әлсіз NLO түзетулер сілтемелерде келтірілген. Арнайы зерттеу шкалаларды таңдауға дейінгі есептеу нәтижелерінің тұрақтылығын жақсарту үшін кинематикалық айнымалыларға тәуелді «динамикалық шкалаларды» (dynamic scales)

қолдануға болатындығын көрсетті. Алайда, бұл жағдайда КХД түзетулерін есептеу кезінде әртүрлі кинематикалық үлестірулер динамикалық шкалалардың әртүрлі таңдауына қатысты тұрақты болады. Факторизацияның ренормализациясының динамикалық шкаласын, және -кварктарының көлденең массаларының көбейтіндісінің геометриялық орташа мәнін осындай таңдау NLO КХД түзетуінің есептеуінде өндіріс пен ыдырау процесіне жасалған. -кварктар, олардың жаппай қабығындағы және сыртындағы процестерге қатысады, сонымен қатар барлық кедергілердің үлесі. Бұл есептеулер -кварктардың түзілуіне және ыдырауына бір уақытта түзетулер енгізу теориялық болжамдардың дәлдігін едәуір жақсартып алады деген бақылауларды растады. NNLO КХД түзетулерін каналды бір жоғарғы кваркты өндірудің жетекші механизмі есептелген. Белгіленгендей, NNLO КХД түзетулерінің -кварктық ыдырау еніне есептеулері келтірілген.

Жетекші қалпына келтірілуін ескере отырып және жетекші логарифмдік жұмсақ түзетулерден (NNL және NNLL) және кейбір жағдайларда NNLO КХД түзетулерін ескере отырып, NLO түзетулерін есептеу кезінде сирек кездесетін процестерге түзетулер енгізілді, онда жұбы кварктар W бозондарының сүйемелдеуімен өндіріледі, Z бозоны сипаттайды, Хиггс бозоны сипатталады. Барлық есептеулерде есептер дәлдігінің едәуір жақсаруы мазасыздық теориясы атап өтілді. Теорияға сәйкес, процестердің көлденең қималары үшін нәтижелер ренормализация және факторизация масштабындағы ауытқуларға байланысты тұрақты болып келеді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Топ-кварк басқа кварктардан айтарлықтай ерекшеленеді, сондықтан бөлшектер физикасында ерекше рөл атқарады. t -кварк - бұл ең массивті кварк ғана емес, жалпы Стандартты модельдегі ең массивтік бөлшек. Кварктың үлкен массасы оның өмір сүру уақыты вакуумнан кварк-антикварк күйлерін құруға және адрондар түзуге кеткен уақыттан әлдеқайда аз болатындығына әкеледі. Сондықтан, бір жағынан, табиғатта t -кварк бар адрондар жоқ, ал екінші жағынан, адрондалу әсерімен бүркемеленбеген t -кварктың іргелі қасиеттерін зерттеудің ерекше мүмкіндігі бар. t -кварк пен өндіріс көлемінің үлкен қималарын қамтитын әр түрлі процестердің сипаттамаларын болжаудағы өте жоғары теориялық дәлдік оны Стандартты модельді тексеруге, сонымен қатар эффектілерді Стандартты модельден тыс іздеуге

арналған бірегей зертхана етеді. LHC-де жұмысының бірінші және екінші сессияларындағы тәжірибелерде t -кварк массасы, жұптық және дара өндіріс қималары, араластыру параметрі V_{tb} , әр түрлі үлестірулер мен спиндік корреляциялар, үлесі басым процестерге арналған қималар вирондық кварктардың, мысалы, бозонның өндірісі жеткілікті жоғары дәлдікпен өлшенді, глюон-глюонды біріктірудегі жылу, Юкана-Хиггс-Бозе байланыстырушы тұрақтылары және басқалар асқан дәлдікпен өлшеніп қойған.

Авторлар мүдделер қақтығысының жоқ екенін мәлімдейді.

Авторлық құқық © 2026 автор(лар)ға тиесілі. Бұл мақала [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) (CC BY-SA 4.0) лицензиясы бойынша ашық қолжетімді болып табылады. Лицензия түпнұсқа еңбекке тиісті түрде сілтеме жасалған жағдайда, кез келген ортада пайдалануға, таратуға және қайта жариялауға рұқсат береді. Туынды материалдар осы лицензияның дәл осындай шарттарымен таратылуы тиіс.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- [1] M. Beneke et al., «Top quark physics», in «Standard model physics (and more) at the LHC», G. Altarelli and M. L. Mangano eds., Geneva, Switzerland: CERN (2000), p. 419-529; arXiv:hep-ph/0003033
- [2] S. Abachi et al. [D0 Collaboration], «Observation of the top quark», Phys. Rev. Lett. 74, 2632 (1995), doi:10.1103/PhysRevLett.74.2632, [hep-ex/9503003]
- [3] F. Abe et al. [CDF Collaboration], «Observation of top quark production in collisions», Phys. Rev. Lett. 74, 2626 (1995), doi:10.1103/PhysRevLett.74.2626, [hep-ex/9503002].
- [4] E.E. Boos, O. Brandt, D. Denisov, S.P. Denisov, P. Grannis, «The top quark (20 years after the discovery)», Phys. Usp. 58 1133-1158 (2015)
- [5] C. Patrignani et al. (Particle Data Group), Chin. Phys. C, 40, 100001 (2016) and 2017 update.
- [6] N. Cabibbo, «Unitary symmetry and leptonic decays», Phys. Rev. Lett. 10, 531 (1963).
- [7] M. Kobayashi and T. Maskawa, «CP-violation in the renormalizable theory of weak interaction», Prog. Theor. Phys. 49, 652 (1973).
- [8] LHC Top Working Group <https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/LHCPhysics/LHCTopWGSummaryPlots>
- [9] W. Buchmuller and D. Wyler, «Effective Lagrangian Analysis of New Interactions and Flavor Conservation», Nucl. Phys. B 268 (1986) 621, doi:10.1016/0550-3213(86)90262-2
- [10] J.A. Aguilar-Saavedra, «A Minimal set of top anomalous couplings», Nucl. Phys. B 812 (2009) 181, doi:10.1016/j.nuclphysb.2008.12.012, [arXiv:0811.3842 [hep-ph]].
- [11] J. A. Aguilar-Saavedra et al., «Interpreting top-quark LHC measurements in the standard-model effective field theory», arXiv:1802.07237 [hep-ph].

IT technologies, energy, automation and computing.

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/142>

MODELING AND OPTIMIZATION OF AN AUTOMATIC POWER CONTROL SYSTEM FOR THE MILLING PROCESS

¹**Herashchenko A.*

¹*Bogdan Khmelnytsky Melitopol State Pedagogical University, Zaporizhzhia, Ukraine*

* Correspondent's E-mail: 2844604@gmail.com

Author information:

Herashchenko Anatolii, Bogdan Khmelnytsky Melitopol State Pedagogical University, 59 Naukove Mistechko Street, Zaporizhzhia, Zaporizhzhia Region, 69000, Ukraine, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-6803-3329>, e-mail: 2844604@gmail.com

Abstract — The article addresses the scientific and applied problem of developing automatic control systems for stabilizing milling machine cutting power under changing operating conditions. Maintaining a constant cutting power level is essential for improving machining quality, increasing productivity, reducing energy consumption, and extending tool life. A synthesis approach based on fractional-integral controllers with an increased astatism order is proposed. A specialized optimization criterion was developed to ensure fast transient response while limiting overshoot within predefined bounds. Unlike conventional mean-square-error criteria, the proposed functional accounts for the position of the control error relative to the admissible region, providing smoother transient behavior. Optimal controller parameters were determined using genetic algorithms implemented in MATLAB. The obtained results enabled the synthesis of fractional-order control systems with improved dynamic performance compared to classical controllers. Simulation studies demonstrated effective disturbance rejection and rapid stabilization under sudden load changes. For a 50% increase in cutting power demand, the transient deviation was reduced from approximately 200 W to 19–39 W, while the settling time remained below 0.02 s.

Keywords — cutting power, milling machine, automatic control system, fractional-integral controller, fractional order.

ФРЕЗЕРЛЕУ ПРОЦЕСІНІН ҚУАТЫН АВТОМАТТЫ РЕТТЕУ ЖҮЙЕСІН МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ ОҢТАЙЛАНДЫРУ

¹**Геращенко А.*

¹ *Богдан Хмельницкий атындағы Мелитополь мемлекеттік педагогикалық университеті, Запорожье қ., Украина*

*Корреспондент E-mail: 2844604@gmail.com

Авторлар туралы ақпарат:

Геращенко Анатолий, Богдан Хмельницкий атындағы Мелитополь мемлекеттік педагогикалық университеті, Наукове Містечко көшесі, 59, Запорожье қаласы, Запорожье облысы, 69000, Украина, ORCID ID: 0009-0006-6803-3329, e-mail: 2844604@gmail.com

Абстракт — Жұмыста астатизм дәрежесі жоғарылаған бөлшек-интегралдық реттегіштерге негізделген синтез әдісі ұсынылған. Өтпелі процестің жоғары жылдамдығын қамтамасыз ете отырып, артық реттеуді алдын ала белгіленген шектерде шектеуге мүмкіндік беретін арнайы оңтайландыру критерийі әзірленді. Дәстүрлі орташа квадраттық қателік критерийлерінен айырмашылығы, ұсынылған функционал басқару қателігінің рұқсат етілген аймаққа қатысты орналасуын ескереді, бұл өтпелі процестердің неғұрлым бірқалыпты өтуін қамтамасыз етеді. Реттегіштің оңтайлы параметрлері MATLAB ортасында жүзеге асырылған генетикалық алгоритмдер көмегімен анықталды. Алынған нәтижелер классикалық реттегіштермен салыстырғанда динамикалық сипаттамалары жақсартылған бөлшек ретті басқару жүйелерін синтездеуге мүмкіндік берді. Имитациялық зерттеулер жүктеменің күрт өзгеруі жағдайында сыртқы әсерлерді тиімді өтеуді және жүйенің жылдам тұрақтануын көрсетті. Кесу қуатына сұраныс 50%-ға артқан кезде өтпелі ауытқу шамамен 200 Вт-тан 19–39 Вт-қа дейін төмендегені анықталды, ал орнығу уақыты 0,02 секундтан аспады.

Кілт сөздер — кесу қуаты, фрезерлік станок, автоматты басқару жүйесі, бөлшек-интегралдық реттегіш, бөлшек ретті жүйе.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТЬЮ ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ

¹**Геращенко А.*

¹ *Мелитопольский государственный педагогический университет имени Богдана Хмельницкого, г. Запорожье,*

Украина

* E-mail корреспондента: 2844604@gmail.com**Информация об авторах:**

Герашенко Анатолий, Мелитопольский государственный педагогический университет имени Богдана Хмельницкого, ул. Научный городок, 59, г. Запорожье, Запорожская область, 69000, Украина. ORCID ID: 0009-0006-6803-3329, e-mail: 2844604@gmail.com

Аннотация — Предложен подход к синтезу систем управления на основе дробно-интегральных регуляторов с повышенным порядком астатизма. Разработан специализированный критерий оптимизации, обеспечивающий высокое быстродействие переходного процесса при ограничении перерегулирования в заданных пределах. В отличие от традиционных критериев среднеквадратической ошибки, предложенный функционал учитывает положение ошибки управления относительно допустимой области, что обеспечивает более плавное протекание переходных процессов. Оптимальные параметры регуляторов были определены с использованием генетических алгоритмов, реализованных в среде MATLAB. Полученные результаты позволили синтезировать системы управления дробного порядка с улучшенными динамическими характеристиками по сравнению с классическими регуляторами. Результаты моделирования показали эффективное подавление возмущений и быстрое восстановление режима при резких изменениях нагрузки. При увеличении требуемой мощности резания на 50 % величина переходного отклонения была снижена приблизительно с 200 Вт до 19–39 Вт, а время установления не превышало 0,02 с.

Ключевые слова — мощность резания, фрезерный станок, автоматическая система управления, дробно-интегральный регулятор, система дробного порядка.

MAIN PROVISION

An approach has been developed to synthesize systems for automatic cutting power control of milling machines based on fractional-integral regulators with an increased astaticism order, which makes it possible to achieve a more flexible formation of dynamic characteristics of a closed system compared with classical regulators.

A specialized criterion for optimizing the transient process is proposed, which, unlike traditional RMS criteria, takes into account not only the magnitude of the control error, but also its position relative to the permissible deviation range, due to which the transient process is smoother with limited overshoot.

Using genetic algorithms implemented in the MATLAB environment, optimal regulator parameters were determined for various values of the astaticity order, while it was found that the most rational range for practical implementation is the astaticity order range of 1.7–1.8, which provides a reasonable compromise between the accuracy of regulation and the complexity of the regulator structure.

It is shown that with an abrupt increase in the required cutting power by 50%, the synthesized system makes it possible to reduce the amplitude of the transient power deviation from about 200 W to 19–39 W, and the duration of the transient process does not exceed 0.02 s.

It has been found that the use of a fractional order of astaticism above unity provides a gradual decrease in the velocity error with a linearly varying setting effect, which is not observed in systems with the classical integer order of astaticism — this property increases the accuracy of tracking during long-term operation of the equipment.

The current stage of mechanical engineering development is characterized by rapidly increasing requirements for production efficiency, product quality, automation level, and energy efficiency of technological equipment. Under conditions of global competition, industrial enterprises are forced to continuously improve labor productivity, reduce material and energy consumption, and ensure consistently high machining accuracy. Achieving these objectives largely depends on the sophistication of automatic control systems, which must not only maintain specified operating modes but also adapt to changing production conditions.

Milling occupies a leading position among modern machining processes. Owing to its versatility, high productivity, and capability to manufacture parts with complex geometries, milling operations are widely used in aerospace, automotive, shipbuilding, energy, and many other industrial sectors. Consequently, improving the efficiency of milling machine operation remains an important research area attracting considerable attention from specialists in automation, mechatronics, and electric drive systems.

The efficiency of the milling process is largely determined by the stability of cutting conditions. During machining, the cutting tool and machine drive are continuously subjected to variable loads caused by the technological characteristics of the process. The main factors affecting cutting power include variations in the physical and mechanical properties of the workpiece material, fluctuations in machining allowance, changes in cutting depth and width, feed rate variations, vibration phenomena, thermal effects, and progressive tool wear. In practical manufacturing environments, all these factors act simultaneously, creating a complex combination of internal and external disturbances that

Introduction

significantly influence the energy characteristics of the cutting process.

Variations in cutting power directly affect the quality of the machined surface and the dimensional accuracy of the workpiece. Excessive cutting power may lead to drive overload, increased heat generation, accelerated tool wear, and deterioration of surface finish. Conversely, insufficient loading often results in inefficient equipment utilization, reduced productivity, and longer machining cycles. Therefore, maintaining cutting power at a prescribed level represents one of the most important objectives of modern automation systems for metal-cutting operations.

Traditionally, automatic control systems for machine-tool drives have focused on stabilizing spindle speed or feed rate. Such systems provide the required operating conditions for the drive and maintain specified kinematic parameters of the machining process. However, practical experience shows that even with perfect spindle-speed stabilization, cutting power may vary considerably under the influence of random load disturbances. As a result, additional dynamic stresses arise in machine components, machining accuracy deteriorates, and operating costs increase.

For this reason, increasing attention has recently been devoted to the development of control systems aimed directly at stabilizing the energy parameters of machining processes. One of the most promising approaches involves adjusting the tool feed rate according to the current value of cutting power. In this case, the control system automatically compensates for load variations, maintaining an optimal operating mode regardless of changes in material properties or other external factors. The implementation of such a principle makes it possible to increase productivity, ensure more uniform loading of the electric drive, and significantly improve the economic performance of manufacturing operations.

At the same time, the development of highly efficient cutting-power stabilization systems is associated with a number of challenging scientific and technical problems. The control object exhibits pronounced nonlinear behavior, time-varying parameters, and random disturbances. Moreover, different control quality indicators often impose conflicting requirements. For example, increasing system speed frequently leads to greater overshoot, whereas reducing steady-state error may decrease stability margins or increase settling time. Consequently, the search for new controller structures and parameter optimization methods remains an important direction of contemporary research.

Among the promising approaches for improving control quality, fractional-integral controllers have attracted considerable attention. Unlike conventional PI, PID, and related controllers, they employ the mathematical apparatus of fractional calculus, allowing integration and differentiation of non-integer order.

This approach provides additional degrees of freedom for shaping system dynamics and offers significantly greater flexibility in controller tuning. Owing to these additional parameters, fractional-integral controllers are capable of providing high control accuracy, enhanced disturbance rejection, and an optimal balance between response speed and damping characteristics.

Particular interest is associated with systems possessing a fractional order of astatism. Increasing the astatism order makes it possible to significantly reduce dynamic errors and improve tracking performance under varying reference inputs. However, a higher astatism order also increases controller complexity, necessitating dedicated studies aimed at determining optimal parameter values. Another important challenge involves the development of optimization criteria that account not only for the magnitude of the control error but also for transient response characteristics, overshoot level, and settling speed.

Modern global optimization techniques, particularly genetic algorithms, offer substantial potential for addressing these challenges. Evolutionary optimization methods enable the efficient determination of optimal controller parameters in multidimensional search spaces while avoiding local extrema commonly encountered in gradient-based approaches. Consequently, it becomes possible to synthesize control systems with predetermined performance characteristics and high operational efficiency over a wide range of operating conditions.

Therefore, the relevance of this research is determined by the need to improve the efficiency of machining processes through the development of advanced cutting-power stabilization systems for milling machines. The synthesis of closed-loop control systems based on fractional-integral controllers and modern optimization algorithms can provide high levels of accuracy, dynamic performance, and energy efficiency. The obtained results may be applied in the design of next-generation machine-tool drives, automated manufacturing systems, and robotic production complexes, thereby contributing to the further advancement of modern mechanical engineering and digital manufacturing technologies.

LITERATURE REVIEW

Improving the efficiency of machining processes on metal-cutting machine tools is one of the key directions in the development of modern mechanical engineering. Under conditions of continuously increasing requirements for product quality, production productivity, and energy efficiency of technological processes, the improvement of automatic control systems for cutting conditions becomes particularly important. The ability to ensure stable machining accuracy, rational utilization of equipment, and minimization of production costs largely depends on the effectiveness of such control systems. Modern

manufacturing facilities operate in a highly competitive environment, forcing enterprises to continuously seek new approaches to increasing productivity and reducing production costs. One of the most promising ways to achieve these objectives is the implementation of intelligent automatic control systems for technological processes.

Among the numerous parameters characterizing the machining process, cutting power occupies a special place. This parameter directly reflects the energy state of the technological process and integrally accounts for the influence of numerous factors arising during machine operation. Cutting power depends on the physical and mechanical properties of the workpiece material, the geometric characteristics of the cutting tool, cutting conditions, tool wear level, rigidity of the technological system, and many other factors. Due to its high informativeness, this parameter is widely used as a criterion for evaluating machining efficiency and as a control variable in modern automated systems.

Maintaining cutting power at a specified level enables the rational use of energy resources and ensures maximum utilization of technological equipment. Under conditions of stable cutting power, a uniform load distribution on the electric drive is achieved, mechanical and thermal overloads are reduced, and the operating conditions of the cutting tool are improved. As a result, the quality of the machined surface is enhanced, the amount of defective products is reduced, equipment service life is extended, and manufacturing costs are lowered. Furthermore, cutting-power stabilization creates the prerequisites for implementing adaptive control systems capable of automatically adjusting operating modes according to the current state of the technological process.

The necessity of cutting-power stabilization arises from the fact that real machining processes are accompanied by numerous external and internal disturbances. These include variations in machining allowance, non-uniformity of the workpiece material structure and hardness, changes in tool geometry caused by wear, vibration phenomena, thermal effects, and other factors. Under the influence of these disturbances, cutting power may significantly deviate from its nominal value, resulting in reduced machining quality and decreased equipment efficiency. Therefore, the development of automatic control systems capable of rapidly compensating for such disturbances represents an important scientific and technical challenge.

Traditional approaches to the design of automatic control systems for metal-cutting machine tools are primarily based on classical controllers, such as proportional, integral, differential, and their combined forms. Despite their widespread use and relative simplicity, these controllers do not always provide the

required control quality when applied to complex nonlinear objects with time-varying parameters. In many cases, it becomes necessary to satisfy conflicting requirements related to response speed, accuracy, stability, and overshoot limitation, which significantly complicates the controller tuning process.

For this reason, fractional-order control methods have gained considerable attention in recent years. These methods are based on the mathematical apparatus of fractional calculus. Unlike conventional approaches, fractional-order controllers enable integration and differentiation of non-integer order, thereby providing additional degrees of freedom in the synthesis of automatic control systems. This makes it possible to achieve more flexible shaping of dynamic and static characteristics of closed-loop systems and to obtain performance indicators that are difficult to achieve using traditional controllers.

Particular interest in fractional-order control methods is explained by their ability to adequately describe processes characterized by distributed parameters, complex dynamics, and pronounced inertial properties. Many machining processes exhibit precisely these features, making the application of fractional-order models and controllers highly justified. Numerous studies have demonstrated that fractional-integral and fractional-derivative controllers can significantly improve control quality, reduce dynamic errors, and increase system robustness against external disturbances.

Thus, the development of fractional-order control methods opens new opportunities for improving automatic cutting-power stabilization systems for metal-cutting machine tools. The application of fractional-integral controllers enables the formation of optimal dynamic and static characteristics of closed-loop systems while ensuring high accuracy in maintaining technological parameters, increasing equipment productivity, and reducing energy consumption. Therefore, research aimed at developing and improving methods for the synthesis of such control systems is highly relevant from both scientific and practical perspectives.

In [1], the authors considered a microprocessor-based control system for an AC electric drive with regulation of a technological parameter. The study demonstrated the feasibility of developing control systems focused not only on maintaining the kinematic coordinates of an electric drive but also on directly regulating technological process variables. The obtained results confirmed the prospects of using technological parameters as control coordinates. However, issues related to achieving optimal dynamic performance and the application of fractional-order controllers were not addressed.

The theoretical foundations for applying fractional mathematical tools were presented in [2], where the possibility of approximating transient thermal processes in complex geometric structures using fractional derivatives was investigated. The obtained results confirmed the effectiveness of fractional-order models in describing complex physical processes characterized by distributed parameters and pronounced inertial properties.

Practical aspects of implementing control systems based on fractional calculus were considered in [3]. The authors performed the synthesis and practical implementation of automatic control systems employing discrete fractional-integral-derivative controllers. It was demonstrated that the use of fractional operators expands controller tuning capabilities and enables the achievement of desired transient response characteristics.

Further development of this research direction was presented in [4], which focused on the modeling and identification of systems containing fractional integral and differential elements. The proposed approaches established a methodological basis for constructing fractional-order mathematical models and synthesizing corresponding control systems.

Fundamental principles of fractional dynamics and control theory were systematized in [5]. The authors presented the mathematical foundations of fractional calculus, methods for analyzing fractional-order systems, and principles for designing controllers that provide additional degrees of freedom in shaping the dynamic characteristics of closed-loop systems.

The widespread application of fractional-order models in modern engineering was confirmed in the review paper [6], devoted to the modeling of supercapacitors, rechargeable batteries, and fuel cells. The authors showed that fractional models provide a more accurate description of energy storage and conversion processes compared with conventional integer-order models.

A significant contribution to the development of fractional-order system synthesis methods was made in [7]. The authors proposed a methodology for designing automatic control systems based on standard fractional Butterworth forms and fractional binomial forms. The obtained results demonstrated the possibility of purposefully shaping the required frequency and dynamic characteristics of control systems through the selection of the fractional integration order.

The practical effectiveness of fractional-order controllers in technological processes was demonstrated in [8], where an ore grinding circuit was controlled using fractional-order controllers. The research results confirmed improved control quality and disturbance rejection capabilities compared with conventional PID

controllers.

A modern trend in the development of fractional-order control is the integration of fractional controllers with adaptive algorithms. Thus, [9] proposed fractional PI-PI μ D controllers with neural-network adaptation for BLDC motor drive systems. The obtained results demonstrated improved control accuracy and enhanced dynamic performance through the application of fractional-order integration and differentiation.

In [10], PI λ D μ controllers were investigated for improving human-machine interaction in complex technical systems. The authors analyzed the influence of fractional-order controllers on control system performance and demonstrated their potential for application in complex engineering objects.

Practical aspects of using fractional-order controllers to optimize dynamic processes were considered in [11], where a control system for electromagnetic brakes of an internal combustion engine test bench employing fractional ID controllers was investigated. The performed analysis confirmed the effectiveness of fractional-order controllers in improving control quality and enhancing the dynamic performance of electromechanical systems.

The conducted analysis of the available literature indicates significant progress in the development of fractional-order control theory, methods for mathematical modeling of fractional-order systems, and the practical application of fractional-integral and fractional-derivative controllers in various engineering systems. Over the past decades, a substantial scientific foundation has been established, encompassing both the mathematical principles of fractional calculus and the applied aspects of its implementation in automatic control systems. Numerous theoretical and experimental studies have convincingly demonstrated that fractional-order controllers extend the possibilities for shaping the dynamic characteristics of closed-loop systems, improve control accuracy, and provide superior transient response performance compared with conventional integer-order controllers.

The analysis of scientific publications shows that fractional-order controllers are most actively employed in electric drive systems, power engineering installations, robotic complexes, electromechanical systems, thermal engineering facilities, chemical process control systems, and objects with distributed parameters. Considerable attention has been devoted to the synthesis of fractional PI λ , PD μ , and PI λ D μ controllers, the investigation of their frequency-domain characteristics, stability analysis, and the development of parameter optimization methods. Numerous researchers have demonstrated that fractional-order integration and differentiation provide additional degrees of freedom during controller design, enabling higher control quality in systems characterized by

complex dynamic behavior.

At the same time, the performed analysis revealed that the vast majority of existing studies are focused either on general theoretical aspects of fractional-order control or on the application of fractional controllers to specific classes of electromechanical systems. Considerably less attention has been paid to technological objects in which the controlled variables are directly related to manufacturing process parameters. In particular, comprehensive studies devoted to the development of automatic cutting-power stabilization systems for metal-cutting machine tools using fractional-order controllers are practically absent in the available scientific literature.

A distinctive feature of the cutting process is that cutting power represents an integral indicator of the technological process state while simultaneously reflecting the influence of numerous internal and external factors. It depends on the properties of the workpiece material, cutting conditions, tool geometry, tool wear level, machining allowance, rigidity of the technological system, and many other parameters. Therefore, stabilizing cutting power makes it possible to maintain optimal operating conditions and ensure high technical and economic performance of manufacturing equipment. Despite its importance, the use of cutting power as the primary controlled variable of the machining process has received insufficient attention in contemporary scientific research.

An analysis of existing approaches indicates that most automatic control systems for metal-cutting machine tools are primarily oriented toward stabilizing spindle rotational speed or feed rate. Such systems ensure the maintenance of kinematic process parameters but do not always guarantee the stability of the cutting energy regime. As a result, significant power fluctuations may occur under varying load conditions, negatively affecting machining quality, equipment productivity, and cutting-tool life. Consequently, there is a need for specialized automatic control systems directly focused on cutting-power stabilization.

Another insufficiently investigated issue concerns the selection of the optimal astatism order of closed-loop systems. It is well known that increasing the astatism order reduces steady-state and dynamic errors, improves tracking accuracy, and enhances disturbance rejection capabilities. However, a higher astatism order also increases controller complexity and alters system dynamic behavior. Existing studies do not provide generalized recommendations regarding the selection of the fractional astatism order for cutting-power stabilization systems, nor do they sufficiently investigate its influence on transient response quality indicators.

A separate scientific challenge is associated with

the development of optimization criteria for the synthesis of fractional-order control systems. Most existing approaches are based on integral quadratic performance indices or their modifications. Although such criteria effectively minimize the mean-square control error, they do not always ensure an optimal compromise between response speed, overshoot, and oscillatory behavior. For technological systems in which even a short-term excess of the permissible power level may result in reduced machining quality or equipment overload, there is a need for specialized optimization criteria capable of accounting for the specific features of the technological process.

Further investigation is also required regarding the determination of optimal parameters for fractional-integral controllers. The number of adjustable parameters in such controllers is significantly greater than that of conventional PI and PID controllers. On the one hand, this creates additional opportunities for improving control performance; on the other hand, it substantially complicates the parameter optimization problem. Therefore, the development of efficient tuning algorithms capable of determining optimal controller parameters over a wide range of operating conditions remains an important research objective.

Particular attention should be given to the problem of simultaneously achieving high response speed, minimal overshoot, and low dynamic errors under abrupt load variations. For cutting-power stabilization systems, this requirement is of fundamental importance because any delay or excessive fluctuation of the controlled variable may negatively affect the machining process. Consequently, there is a need to develop new synthesis methods for fractional-order control systems that provide an optimal compromise among all major control quality indicators.

Therefore, despite the considerable achievements in the field of fractional-order control, the problem of synthesizing closed-loop cutting-power stabilization systems for metal-cutting machine tools using fractional-integral controllers remains insufficiently investigated. Future research should focus on developing methods for selecting the optimal astatism order, creating specialized optimization criteria for transient processes, determining the tuning laws of fractional-order controllers, and ensuring high control quality under intensive load variations. Addressing these scientific and technical challenges constitutes the primary objective of the present study.

The objective of this paper is to develop a scientifically grounded methodology for the synthesis of closed-loop cutting-power stabilization systems for milling machines based on fractional-integral controllers capable of providing high control quality under variable operating conditions of technological

equipment. Particular attention is focused on the formation of control system structures and parameter sets that simultaneously ensure high response speed, minimal overshoot, low steady-state and dynamic errors, and enhanced robustness against external and internal disturbances characteristic of machining processes.

To achieve this objective, a comprehensive set of theoretical and applied studies was carried out aimed at improving automatic cutting-power control methods. In particular, the operational features of cutting-power stabilization systems were analyzed, and the main factors affecting control quality under varying load conditions were identified. The feasibility of employing fractional-integral controllers as an effective means of improving control performance was substantiated due to the additional degrees of freedom provided by the mathematical apparatus of fractional calculus. Furthermore, a specialized optimization criterion for transient processes was formulated, aimed at achieving the maximum possible system response speed while simultaneously limiting overshoot and dynamic deviations of the controlled variable.

Within the framework of the study, optimal parameters of the closed-loop control system were determined for various astaticism orders, the corresponding parameter variation patterns were established, and the influence of controller parameters on system dynamic characteristics was evaluated. Based on the obtained results, fractional-integral controllers were synthesized to improve cutting-power stabilization accuracy under abrupt load changes and random disturbances. In addition, transient responses were investigated, control quality indicators were assessed, and rational system parameters ensuring effective maintenance of the specified cutting-power level were determined. The obtained results are aimed at increasing the productivity of milling machines, improving machining quality, and reducing energy consumption in modern automated manufacturing systems.

MATERIALS AND METHODS

Methodological Approach to the Evaluation of Transient Response Quality in Astatic Control Systems

Let us assume that the inner loop of the closed-loop control system can be described by the following transfer function. Such an assumption is justified from the standpoint of further analysis of the system's dynamic properties and controller synthesis, since it allows the principal operating characteristics of the system to be represented with sufficient accuracy over the entire range of operating conditions. The transfer function of the inner loop characterizes the relationship between the input control signal and the output variable of the system while taking into account the dynamic

properties of the actuating mechanisms, electric drive, and other components of the controlled object.

The proposed mathematical representation constitutes a generalized model that makes it possible to investigate the processes of control signal formation, evaluate transient-response quality indicators, and determine the influence of system parameters on stability and response speed. The use of such a model is a common approach in the analysis and synthesis of automatic control systems because it enables the application of well-established methods of control theory to obtain analytical relationships and perform numerical investigations.

It is assumed that the parameters of the transfer function are determined on the basis of the characteristics of the actual controlled object and reflect its inertial properties, gain, and energy-conversion features during system operation. This approach makes it possible to subsequently synthesize controllers and optimize their parameters in accordance with specified requirements regarding control accuracy, response speed, and transient-process quality. Therefore, the inner loop of the closed-loop control system will be described by the following transfer function:

$$H_o(s) = \frac{1}{T_v p + 1} \frac{k}{a_2 p^{1+\mu} + a_1 p^{\mu} + 1}, \quad (1)$$

where T_v denotes the uncompensated small time constant that characterizes the high-frequency dynamics neglected during the compensation procedure.

For the subsequent synthesis of the automatic control system, the desired dynamic properties will be specified by defining an appropriate open-loop transfer function $H_{opt}(p)$. The use of a desired transfer function is one of the most common approaches in control theory, since it makes it possible to determine the required performance characteristics of the future system already at the design stage, including response speed, control accuracy, stability, and the nature of transient processes. In this approach, the structure and parameters of the controller are selected in such a way that the actual system behavior is as close as possible to the desired model.

Let the desired open-loop transfer function be represented in the form $H_{opt}(p)$. Such a representation makes it possible to establish the necessary relationship between the system parameters and its performance indicators. Furthermore, the use of a desired transfer function provides a direct basis for applying structural and parametric synthesis methods to determine the characteristics of a controller capable of ensuring compliance with the specified control requirements.

Since the system operates according to the principle of negative feedback, its dynamic properties

are determined not only by the parameters of the openloop path but also by the interaction between the forward and feedback channels. The presence of negative feedback reduces the control error, improves the accuracy of maintaining the desired controlled variable, and enhances the robustness of the system against external disturbances and parametric variations of the controlled plant.

Based on the classical relationships of automatic control theory, using the open-loop transfer function and taking into account unity negative feedback, the transfer function of the closed-loop system $H_C(p)$ can be obtained. This transfer function determines the system response to reference inputs and makes it possible to evaluate the main performance indicators, such as settling time, overshoot, steady-state error, and dynamic error.

Thus, the subsequent analysis of the synthesized system will be carried out on the basis of the closedloop transfer function derived from the desired openloop transfer function. Therefore, representing the desired open-loop transfer function in the form $H_{opt}(p)$ and taking into account unity negative feedback, we obtain the following closed-loop transfer function $H_C(p)$

$$\begin{aligned} H_{opt}(p) &= \frac{b_{opt}p+1}{a_{opt}p^{1+\mu}} \frac{1}{T_v p+1}. \\ H_C(p) &= \frac{a_{opt}p^{1+\mu}T_v p + a_{opt}p^{1+\mu}}{a_{opt}p^{1+\mu}T_v p + a_{opt}p^{1+\mu} + b_{opt}p+1}. \end{aligned} \quad (2)$$

Such a loop possesses an astatism order of $1+\mu$, which is one of its most important features and determines the system's ability to effectively compensate for both steady-state and dynamic control errors. The presence of a fractional astatism order makes it possible to combine the advantages of classical astatic systems with the additional capabilities provided by the mathematical apparatus of fractional calculus. As a result, the system acquires improved properties in terms of tracking reference inputs and rejecting external disturbances.

It is well known that first-order astatic systems ensure the complete elimination of steady-state error when responding to constant reference signals. However, when the reference signal varies with time, particularly in the presence of linearly increasing or other time-varying inputs, dynamic errors arise within the system. The application of a fractional astatism order makes it possible to significantly reduce the magnitude of such errors without substantially increasing the complexity of the system structure or requiring excessively high controller gains.

For a loop with an astatism order of $1+\mu$, not only is the steady-state error completely eliminated, but the dynamic components of the control error are also

effectively reduced. In particular, the velocity error that occurs under a linearly varying reference signal is no longer a constant quantity, as in conventional systems, but gradually decreases with time and tends toward zero. This property is especially important for automatic control systems of technological processes, where high accuracy in maintaining the controlled variable must be ensured under continuously changing operating conditions.

Furthermore, increasing the astatism order has a positive effect on transient response quality and the system's ability to compensate for external disturbances. This is particularly relevant for cuttingpower stabilization systems, where the load may vary rapidly due to fluctuations in machining allowance, non-uniformity of the workpiece material, or changes in the condition of the cutting tool. Under such conditions, a system with a fractional astatism order provides more accurate tracking of reference inputs and more effective disturbance rejection compared with conventional control structures.

Therefore, the use of a loop with an astatism order of $1+\mu$ creates the conditions necessary for simultaneously achieving high control accuracy, minimal steady-state and dynamic errors, and improved transient response characteristics. These properties justify its application in the synthesis of advanced automatic cutting-power stabilization systems for milling machines.

The optimal coefficients a_{opt} and b_{opt} are determined to ensure that the transient process corresponding to a unit-step input satisfies the following optimization requirements:

- minimization of overshoot;
- maximization of system response speed.

These requirements form the basis for selecting the parameters of the desired transfer function and synthesizing the corresponding control system.

Let us select an analytical formulation of the transient-response performance criterion that will be used in the parametric optimization of the closed-loop control system. The final result of the synthesis procedure largely depends on the proper choice of this criterion, since it determines the direction of the search for optimal system parameters and establishes the requirements for the dynamic behavior of the control system. For cutting-power stabilization systems, it is particularly important to ensure not only a high response speed but also to limit the maximum deviation of the controlled variable from its prescribed value. This requirement by the fact that even short-term excesses of the permissible power level may result in deterioration of machining quality, overloading of the electric drive, and accelerated wear of the cutting tool.

The classical integral mean-square error criterion

can formally be represented as the sum of the products of the instantaneous error values and their corresponding weights, which numerically coincide with the error values themselves. Under such conditions, the largest contribution to the objective function is produced by the initial stages of the transient process, where the deviation of the controlled variable from the desired value is maximal. Consequently, during optimization the system tends to reduce the initial error as rapidly as possible, resulting in transient responses characterized by the highest achievable response speed.

From a mathematical perspective, such an approach is entirely reasonable because minimization of the integral quadratic criterion ensures a reduction of the overall error level throughout the entire transient process. However, for practical technological systems this criterion does not always reflect the actual control requirements. As a result of optimization, a transient response is often obtained that may be described as being “pressed” toward the ordinate axis. Such a response exhibits very high speed, but this advantage is achieved at the expense of considerable short-term overshoot and increased dynamic loading.

A particularly significant drawback of the classical mean-square criterion is its low sensitivity to shortduration excursions beyond the specified level. Even when the overshoot reaches relatively large values, its contribution to the overall criterion may remain comparatively small if its duration is short. Consequently, the optimization algorithm may regard such a response as acceptable and even preferable to alternatives characterized by slightly lower response speed but significantly better accuracy and robustness.

For automatic cutting-power stabilization systems, such an approach is unacceptable. In machining processes, even a short-term excess of the permissible power level may cause feed-drive overload, increased temperature in the cutting zone, elevated mechanical stresses within the technological system, and deterioration of the machined surface quality. Moreover, excessive peak loads adversely affect tool life and may lead to premature tool failure. Therefore, minimizing only the integral mean-square error does not guarantee the achievement of the most suitable dynamic performance for technological applications.

Consequently, the use of the classical mean-square performance criterion alone does not provide the necessary compromise between response speed and limitation of maximum deviations of the controlled variable. This creates the need for the development of a specialized transient-response quality criterion that simultaneously accounts for the magnitude of the control error, the duration of the transient process, and the permissible overshoot level. Such an approach

makes it possible to obtain dynamic characteristics that are most appropriate for automatic cutting-power stabilization systems of milling machines and ensures compliance with the stringent requirements imposed by modern machining processes.

Let us formulate a transient-response optimization criterion for systems that are required to provide high response speed (characterized by the selected value of T_0 while maintaining the response within a prescribed tolerance corridor of width $\pm \delta$ around the desired value (Fig. 1).

For this purpose, the control errors at each calculation step are accumulated until the transient response first enters the admissible corridor ($|Y_i - 1| < \delta$), in which case their weighting factor is equal to unity. Subsequently, the objective functional (F) is increased by the fourth power of the error normalized with respect to δ . Consequently, within the admissible corridor the weighting factor becomes less than one, whereas outside the corridor it exceeds one and increases according to a cubic-parabolic law:

$$F = \sum_{i=1}^N \begin{cases} (1 - Y_i) & \forall t < t_1 \\ \left(\frac{1 - Y_i}{\delta} \right)^4 & \forall t > t_1 \end{cases} \rightarrow \min, \quad (3)$$

where t_1 is the time of the first entry into the admissible corridor.

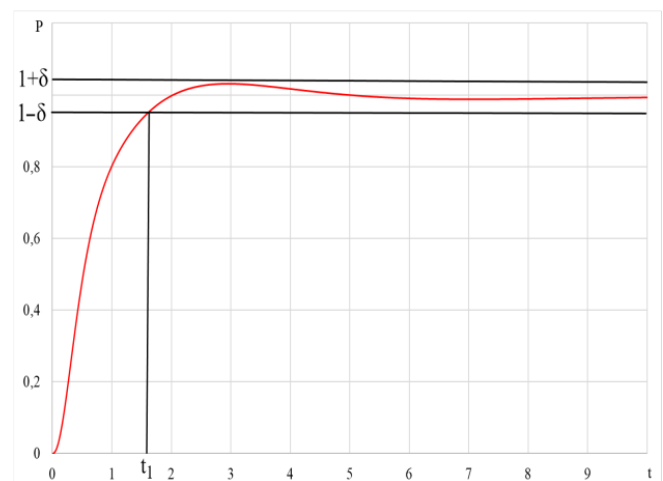


Figure 1 – Criterion for Evaluating Transient Response Quality

The proposed performance criterion eliminates one of the major drawbacks of conventional integral quadratic criteria, namely the tendency of the optimization procedure to compress the transient response toward the origin of the time axis. As a result, the use of classical criteria often produces transient responses characterized by extremely high response speed accompanied by significant short-term

overshoots or undershoots of the controlled variable. For many technical systems, such deviations may be considered acceptable if their duration is sufficiently short. However, for automatic control systems of technological processes, such behavior is undesirable.

The proposed criterion is aimed at generating transient responses that provide not only high response speed but also compliance with prescribed limitations on the allowable deviations of the controlled variable. By introducing a special penalty mechanism for errors occurring outside the specified tolerance corridor, the optimization procedure receives additional information regarding the undesirability of significant local extrema. As a consequence, the optimal transient response becomes smoother and is characterized by reduced overshoot and undershoot levels.

An important advantage of the proposed approach is its ability to establish a compromise between the speed of reaching the steady-state operating condition and the overall quality of the transient response. While conventional criteria are primarily focused on minimizing the integral error, the proposed performance index additionally accounts for the permissible limits of deviation of the controlled variable. As a result, the optimization process is directed not only toward reducing the duration of the transient response but also toward ensuring its technological acceptability. This feature is particularly important for cutting-power stabilization systems, where even a short-term excess of the permissible load level may lead to deterioration of machining quality or equipment overload.

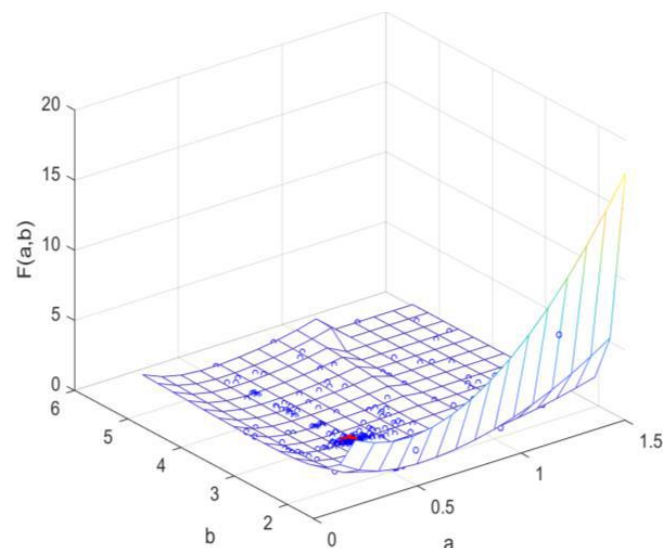
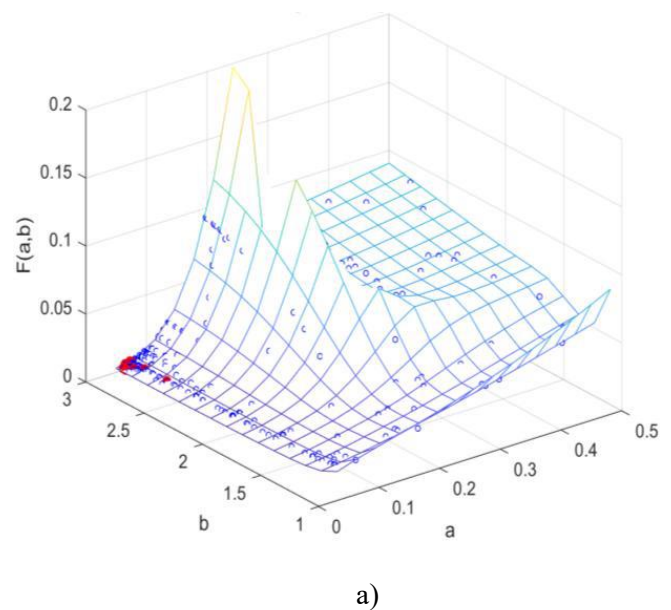
The search for the parameters of the optimal transfer function was carried out using genetic algorithms. The choice of this evolutionary optimization approach was motivated by the complexity of the optimization problem and the specific characteristics of the mathematical model. In particular, for systems with fractional-order integration, the shape of the response surface strongly depends on the selected astatism order and other model parameters. Under such conditions, the objective function may exhibit a complex multimodal structure containing numerous local minima and maxima.

The application of conventional gradient-based optimization methods to such problems is frequently associated with the risk of convergence to a local minimum. In this case, the obtained solution may be only locally optimal and may differ substantially from the global optimum. This problem becomes particularly significant in the synthesis of fractional-order systems, where even a small variation in the integration order may result in a considerable transformation of the objective-function surface.

Unlike gradient-based methods, genetic optimization algorithms perform a simultaneous search

across multiple regions of the parameter space and employ the mechanisms of natural selection, crossover, and mutation to generate new candidate solutions. As a result, the probability of locating the global minimum of the performance functional is significantly increased, even in the presence of highly complex response surfaces. Furthermore, genetic algorithms do not require the computation of derivatives of the objective function, which constitutes an important advantage when dealing with nonlinear models and fractional-order operators.

Therefore, the combination of the proposed transient-response performance criterion with genetic optimization algorithms makes it possible to determine controller parameters that simultaneously provide high response speed, limited overshoot, and high accuracy of cutting-power stabilization. Such a combination of methods creates the prerequisites for the synthesis of efficient automatic control systems capable of operating under variable technological loads while ensuring stable quality of the machining process (Fig. 2).



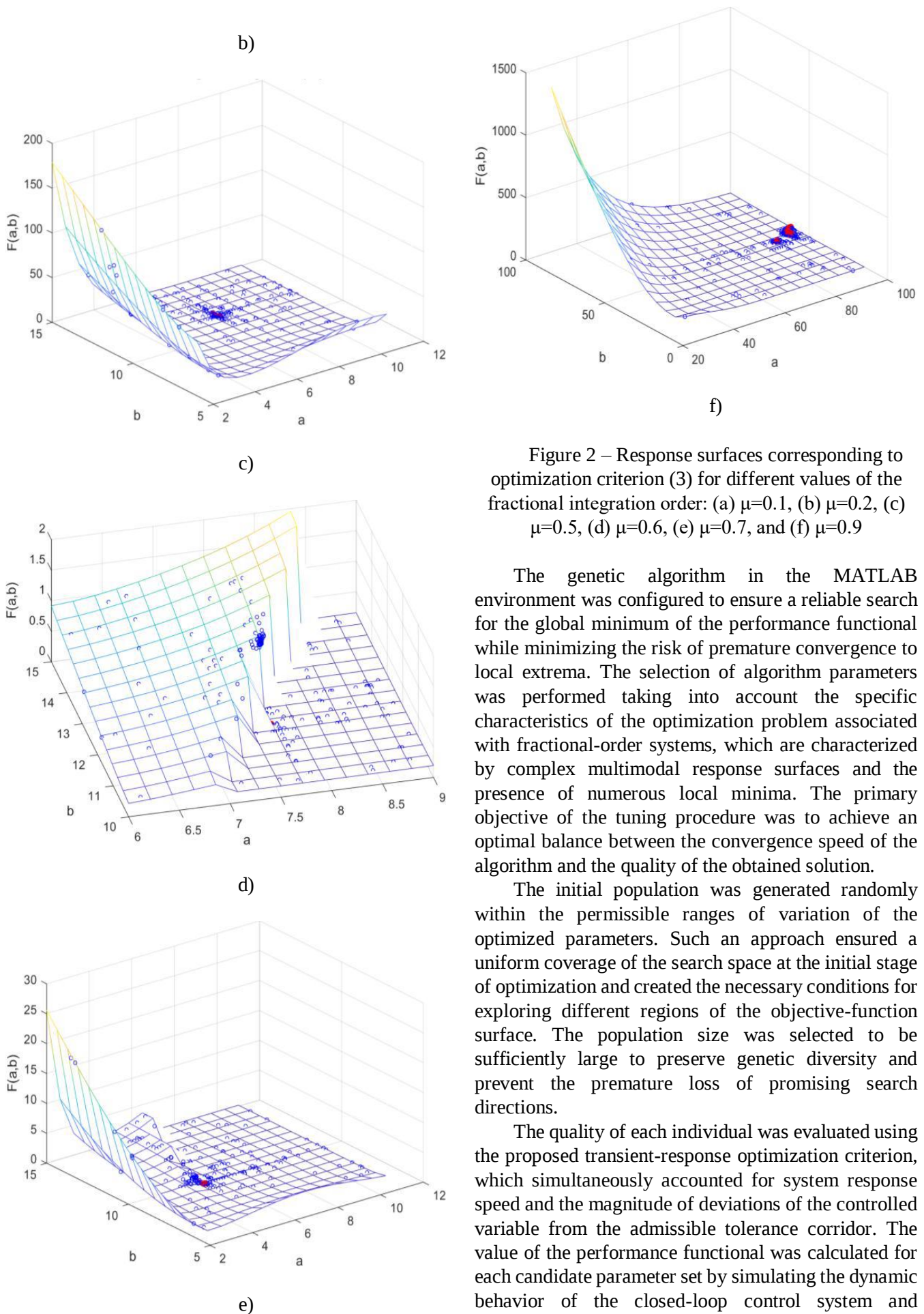


Figure 2 – Response surfaces corresponding to optimization criterion (3) for different values of the fractional integration order: (a) $\mu=0.1$, (b) $\mu=0.2$, (c) $\mu=0.5$, (d) $\mu=0.6$, (e) $\mu=0.7$, and (f) $\mu=0.9$

The genetic algorithm in the MATLAB environment was configured to ensure a reliable search for the global minimum of the performance functional while minimizing the risk of premature convergence to local extrema. The selection of algorithm parameters was performed taking into account the specific characteristics of the optimization problem associated with fractional-order systems, which are characterized by complex multimodal response surfaces and the presence of numerous local minima. The primary objective of the tuning procedure was to achieve an optimal balance between the convergence speed of the algorithm and the quality of the obtained solution.

The initial population was generated randomly within the permissible ranges of variation of the optimized parameters. Such an approach ensured a uniform coverage of the search space at the initial stage of optimization and created the necessary conditions for exploring different regions of the objective-function surface. The population size was selected to be sufficiently large to preserve genetic diversity and prevent the premature loss of promising search directions.

The quality of each individual was evaluated using the proposed transient-response optimization criterion, which simultaneously accounted for system response speed and the magnitude of deviations of the controlled variable from the admissible tolerance corridor. The value of the performance functional was calculated for each candidate parameter set by simulating the dynamic behavior of the closed-loop control system and subsequently analyzing the resulting transient response.

The parent-selection procedure was based on the principle of favoring more fit individuals. Candidate solutions associated with lower values of the objective function were assigned a higher probability of participating in the generation of offspring. Such a mechanism allowed the search process to gradually concentrate on the most promising regions of the parameter space while maintaining sufficient population diversity.

New candidate solutions were generated using crossover and mutation operators. The crossover operator combined the parameters of two parent individuals to produce offspring inheriting advantageous properties from both solutions. The mutation operator introduced random modifications to selected parameters, thereby preventing the optimization process from becoming trapped in local extrema and maintaining the diversity of the population throughout the search procedure.

Particular attention was devoted to the selection of crossover and mutation probabilities. Excessively high mutation rates could lead to the loss of valuable information accumulated during previous generations, whereas excessively low mutation rates could result in premature convergence. Therefore, the parameters of the genetic operators were selected so as to provide an effective compromise between the exploration of new regions of the search space and the exploitation of already identified promising solutions.

The termination criterion of the algorithm was defined either by reaching a prescribed number of generations or by the absence of a significant improvement in the objective-function value over a specified number of iterations. Upon completion of the optimization procedure, the individual with the minimum value of the performance functional among all evaluated solutions was selected as the optimal one. The resulting parameters were then used to construct the desired transfer function and to synthesize the corresponding fractional-integral controller.

The application of the genetic algorithm in MATLAB made it possible to efficiently explore a multidimensional parameter space, identify globally optimal values of the system coefficients, and obtain transient responses characterized by high response speed, limited overshoot, and minimal dynamic errors. These results confirm the effectiveness and suitability of evolutionary optimization methods for the synthesis of fractional-order automatic control systems.

- CreationFcn: @gacreationuniform – the initial population generation function. The gacreationuniform option was selected so that the initial individuals are distributed uniformly and randomly throughout the entire search space bounded by lb (lower bounds) and ub (upper bounds). This approach ensures broad

coverage of the parameter space and increases the probability of identifying promising regions during the early stages of optimization.

- CrossoverFcn: @crossoverScattered – the crossover function. The crossoverScattered operator selects two parent individuals and randomly chooses genes (decision variables) from each parent to create an offspring. This mechanism provides a high degree of variability in the generated population and promotes effective exploration of the search space.

- SelectionFcn: @selectionstochunif – the parent selection function. The selectionstochunif option implements stochastic uniform selection, in which the probability of selecting an individual is proportional to its fitness while retaining a degree of randomness. This approach provides a balance between the principle of “survival of the fittest” and the preservation of population diversity.

- MutationFcn: @mutationadaptfeasible – the mutation function. The mutationadaptfeasible operator adaptively modifies the genes of individuals while ensuring that all parameters remain within the specified admissible bounds (lb, ub). This strategy helps prevent premature convergence, maintains genetic diversity, and improves the algorithm’s ability to escape local minima and continue searching for the global optimum.

The obtained optimal tuning parameters are summarized in Table 1. Figure 3 presents the three-dimensional relationship $F_{opt} = f(a_{opt}, b_{opt})$ while

Figure 4 shows the relationship $b_{opt} = f(a_{opt})$.

Table 1. Normalized Parameters of the Optimal Controller Tuning

$1+\mu$	a_{opt}^{norm}	b_{opt}^{norm}	F
1.10	0.05652	2.94932	0.003371
1.20	0.23151	2.22772	0.017871
1.30	0.55071	2.88831	0.039412
1.40	1.11051	4.13712	0.082162
1.50	2.25753	6.09612	0.133783
1.55	5.25321	10.06211	0.128072
1.60	7.47841	11.94541	0.141791
1.65	7.23282	11.61062	0.142022
1.70	11.06963	14.88031	0.134943
1.80	29.19471	27.56051	0.147751
1.90	99.84562	61.42632	0.205681

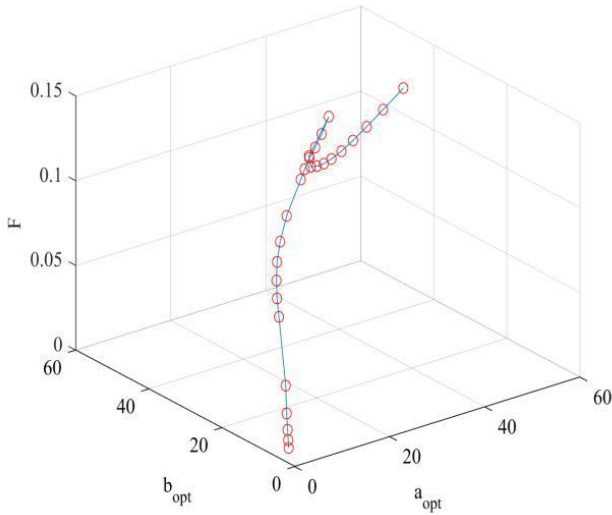


Figure 3 – Three-dimensional relationship $F_{opt} = f(a_{opt}, b_{opt})$

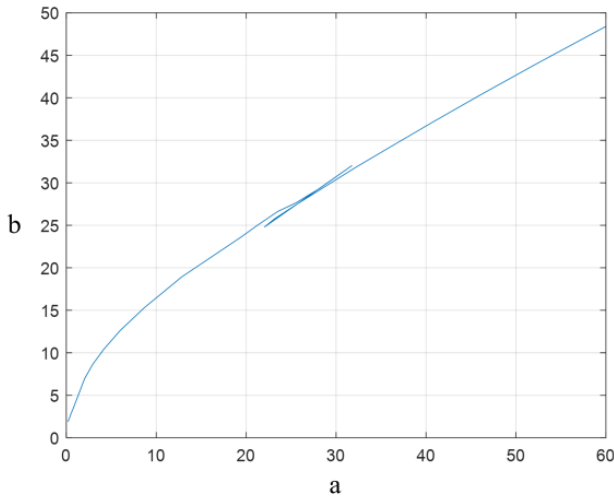


Figure 4 – Relationship $b_{opt} = f(a_{opt})$

Figures 3 and 4 clearly show the presence of a loop in the region $1.651 < 1 + \mu < 1.751$ which complicates the derivation of analytical functions $a_{opt} = f(\mu)$, $b_{opt} = f(\mu)$ but does not affect the achievement of high-quality transient-response characteristics. Figure 5 presents families of transient response functions in the normalized time scale t/T_v obtained on the basis of the proposed optimization criterion. It can be seen that in all cases the overshoot is lower than that obtained using the classical modulus (technical) optimum tuning method (4.352 %, corresponding to $y_{max} = 1.0435$ while providing significantly higher response speed. For all values of μ , the first settling occurs before $4.7T_v$ and the response speed increases with increasing astatism order μ .

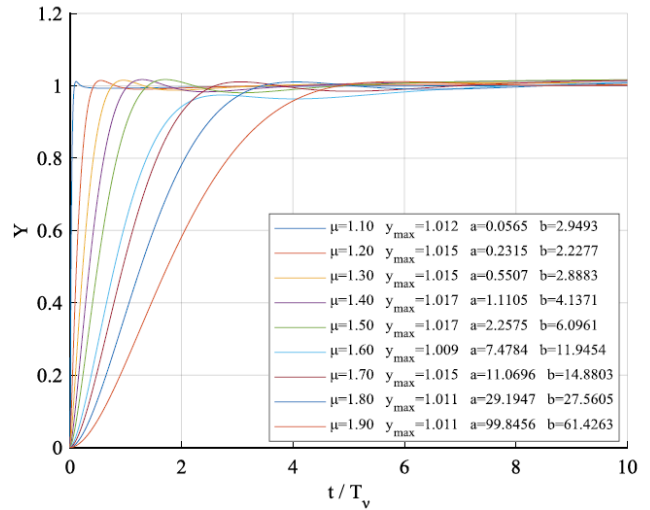


Figure 5 – Transient responses corresponding to the optimal values of μ , a , b , and ($\delta = 0.025$) according to criterion (3).

These functions are normalized with respect to both the horizontal and vertical axes and therefore must be converted into absolute units for a particular technological process. The most challenging task is the time scaling procedure. During the calculation of the parameters (a) and (b), the value $T_v = 1$ was assumed. Consequently, the Laplace operator (p) corresponds to real time according to the relation:

$$p \leftrightarrow T_v \frac{d}{dt}. \quad (4)$$

Then, from transfer function (2), we obtain:

$$\begin{aligned} H_{opt}^{norm}(p) &= \frac{b_{opt}^{norm} p + 1}{a_{opt}^{norm} p^{1+\mu}} \frac{1}{p + 1} \Rightarrow \\ \Rightarrow H_{opt}(p) &= \frac{(b_{opt}^{norm} T_v) p + 1}{(a_{opt}^{norm} T_v^{1+\mu}) p^{1+\mu}} \frac{1}{T_v p + 1} \end{aligned} \quad (5)$$

Thus, in the actual system

$$\begin{aligned} a_{opt} &= a_{opt}^{norm} T_v^{1+\mu}; \\ b_{opt} &= b_{opt}^{norm} T_v. \end{aligned} \quad (6)$$

This approach makes it possible to obtain optimal controller settings for a wide class of automatic control systems in which stringent requirements are imposed on transient-response quality, including high response speed, control accuracy, and robustness against external disturbances. The proposed methodology enables the determination of controller parameters in such a way as to ensure minimal steady-state and dynamic errors

while maintaining an acceptable overshoot level and a high rate of response to reference inputs.

A particularly important advantage of the developed approach is that the obtained relationships between the parameters of the optimal transfer function and the astatism order can be used directly during the control-system design stage without the need to repeatedly perform a computationally intensive optimization procedure for each new application. This significantly reduces the time required for system synthesis and simplifies the selection of rational controller parameters.

The proposed method also makes it possible to account for the specific requirements of a particular technological process through the appropriate selection of the admissible deviation corridor and the required response speed. As a result, the controller parameters can be adapted to the operating conditions of the actual controlled plant, making it possible to achieve an optimal compromise between system responsiveness and the accuracy of maintaining the controlled variable at its prescribed value.

The practical implementation of the proposed approach was carried out for the automatic cutting-power control system of a milling machine. For this system, optimal parameters of fractional-integral controllers were determined, providing effective disturbance rejection, reduced dynamic deviations of cutting power, and improved transient-response characteristics compared with conventional tuning methods. The obtained results confirmed the effectiveness of the proposed methodology and demonstrated its suitability for application in modern automatic control systems for technological processes.

Thus, the developed approach establishes both a theoretical and practical foundation for the synthesis of high-performance fractional-order control systems. It can be applied to the design of automated stabilization systems for technological parameters, particularly cutting power, in various types of metalworking equipment. Furthermore, the proposed methodology may serve as a basis for the development of advanced control systems capable of maintaining high performance and stability under variable operating conditions, thereby improving machining quality, increasing equipment productivity, and enhancing the overall efficiency of manufacturing processes.

Synthesis of Fractional-Order Controllers for a Cutting Power Stabilization System.

One of the key stages in the development of high-performance automatic control systems is the design of controller synthesis methods capable of ensuring the required control quality under conditions of plant-parameter uncertainty and external disturbances. This task is particularly important for

cutting-power control systems, where the parameters of the technological process may vary over a wide range depending on the properties of the workpiece material, cutting conditions, tool wear, and other influencing factors. Under such conditions, conventional integer-order controllers do not always provide the required levels of accuracy and response speed, which justifies the application of fractional-integral controllers.

A significant advantage of fractional-integral controllers is the presence of additional tuning parameters associated with fractional-order integration and differentiation. These additional degrees of freedom make it possible to shape the dynamic characteristics of the system more flexibly, provide the required stability margins, and achieve a better compromise between response speed, control accuracy, and overshoot. As a result, fractional-order systems are finding increasingly widespread application in automatic control problems involving complex technological objects.

An important stage in the synthesis of fractional-integral controllers is the selection of an appropriate mathematical model of the controlled plant. It is well known that many real technological and electromechanical systems exhibit complex inertial properties that cannot always be adequately represented by conventional integer-order models. In such cases, fractional-order models provide a more accurate description of the underlying physical processes by taking into account memory effects, distributed parameters, and the complex dynamic interactions among the individual components of the system.

In many cases, the controlled plant can be described by the following fractional-order transfer function [6]. Such a model represents a generalization of conventional transfer functions and allows the fractional integral-differential properties of the plant to be taken into account. The use of this representation provides a more accurate mathematical description of the system and creates the basis for designing controllers whose parameters are consistent with the actual dynamic characteristics of the controlled object.

A fractional-order transfer function may include both fractional powers of the Laplace operator and coefficients characterizing the inertial and gain properties of the plant. The values of these parameters are determined from experimental data or through the identification of a mathematical model. Subsequently, these parameters are used during the parametric synthesis of the fractional-integral controller and for determining its optimal tuning settings.

Therefore, the use of fractional-order models provides the necessary theoretical foundation for the synthesis of advanced cutting-power control systems by improving the accuracy of the plant representation and enhancing the quality of automatic regulation.

Consequently, in the following analysis, it will be assumed that the controlled plant is described by the following fractional-order transfer function [6]:

$$H_o^s(p) = \frac{k}{a_2 p^{1+\mu(s)} + a_1 p^{\mu(s)} + 1} \frac{1}{T_v p + 1}, \quad (7)$$

where k , a_2 , a_1 , μ denote the parameters of the controlled object.

To synthesize a controller that will be connected in series with the controlled plant and provide the required dynamic characteristics of the closed-loop system, it is necessary to determine its transfer function in such a way that the combined operation of the controller and the plant ensures the realization of the desired optimal open-loop transfer function. In essence, the synthesis problem consists in finding a controller structure and parameter set capable of transforming the dynamic properties of the actual plant into the desired system characteristics specified during the previous design stage.

It is well known that the behavior of a closed-loop control system is directly determined by the product of the transfer functions of the controller and the controlled plant. For this reason, the controller synthesis procedure can be reduced to solving an equation that establishes the relationship between the desired open-loop transfer function and the mathematical model of the plant. By solving this equation, the analytical form of the controller transfer function can be obtained, ensuring that the specified control-performance requirements are achieved.

A distinctive feature of the present problem is that the controlled plant is described by a fractional-order model. Consequently, the synthesized controller must also contain fractional-order integral and/or differential elements whose parameters are coordinated with the fractional characteristics of the plant. Such an approach preserves the advantages of the fractional-order system representation and enables the full utilization of the additional degrees of freedom provided by fractional calculus.

From a mathematical point of view, the synthesis problem is reduced to determining the unknown controller transfer function by equating the product of the controller and plant transfer functions to the desired open-loop transfer function. The resulting relationship serves as the fundamental equation for the subsequent parametric synthesis procedure and for determining the structure of the fractional-integral controller.

Therefore, in order to construct a controller connected in series with the controlled plant and capable of providing the required dynamic characteristics of the system, it is necessary to find the solution of the following equation:

$$H_{opt}(p) = H_R(p) H_o^s(p) \Rightarrow \quad (8)$$

$$\frac{(b_{opt}^{norm} T_v) p + 1}{(a_{opt}^{norm} T_v^{1+\mu}) p^{1+\mu}} \frac{1}{T_v p + 1} = H_R(p) \frac{b(s)}{a_2(s) p^{1+\mu(s)} + a_1(s) p^{\mu(s)} + 1} \frac{1}{T_v p + 1}, \quad (9)$$

$$H_R(p) = \frac{(b_{opt}^{norm} T_v) p + 1}{(a_{opt}^{norm} T_v^{1+\mu}) p^{1+\mu}} \times \frac{a_2(s) p^{1+\mu(s)} + a_1(s) p^{\mu(s)} + 1}{b(s)}, \Rightarrow \quad (10)$$

$$H_R(p) = \frac{((b_{opt}^{norm} T_v) p + 1)}{(a_{opt}^{norm} T_v^{1+\mu}) b(s)} \times \left(\frac{a_2(s) p^{1+\mu(s)}}{p^{1+\mu}} + \frac{a_1(s) p^{\mu(s)}}{p^{1+\mu}} + \frac{1}{p^{1+\mu}} \right). \quad (11)$$

Equation (11) makes it possible to determine both the structure and the parameters of the controller. Based on this relationship, various controller configurations can be synthesized depending on the desired dynamic characteristics of the closed-loop system, the properties of the controlled plant, and the specified performance requirements.

Let us consider several possible controller structures and evaluate their suitability for the cutting-power control system. The choice of controller structure is a crucial stage of the synthesis procedure because it directly affects the dynamic and static performance of the closed-loop system. Different controller configurations provide different levels of response speed, control accuracy, disturbance rejection, and overshoot suppression.

Fractional-order control systems offer greater flexibility than conventional integer-order controllers due to the additional parameters associated with fractional integration and differentiation. By properly selecting these parameters, it becomes possible to achieve an improved compromise between speed of response, stability, and control accuracy.

For the cutting-power stabilization system, the controller must maintain the desired power level under varying load conditions while ensuring rapid disturbance compensation and limited overshoot. Therefore, several controller structures are analyzed to

identify the most effective solution.

The synthesis procedure is based on matching the desired open-loop transfer function with the product of the controller and plant transfer functions. Depending on the selected fractional-order parameter, different controller structures can be obtained, each characterized by specific dynamic properties.

As a first case, let us consider the situation in which the desired fractional-order parameter is defined as $\mu = \mu(s)$. The corresponding controller structure can then be derived from the synthesis equation presented above.

Desired parameter $\mu = \mu(s)$:

$$\begin{aligned}
 H_R(p) &= \frac{\left((b_{opt}^{norm} T_v) p + 1 \right)}{\left(a_{opt}^{norm} T_v^{1+\mu} \right) b(s)} \times \\
 &\times \left(a_2(s) + a_1(s) \frac{1}{p} + \frac{1}{p^{1+\mu}} \right) \Rightarrow \\
 H_R(p) &= \frac{1}{\left(a_{opt}^{norm} T_v^{1+\mu} \right) b(s)} \times \\
 &\times \left(\begin{aligned} &\left((b_{opt}^{norm} T_v) a_2(s) p + \right. \\ &+ a_2(s) + (b_{opt}^{norm} T_v) a_1(s) + \\ &+ a_1(s) \frac{1}{p} + \\ &\left. + \frac{1}{p^\mu} \left((b_{opt}^{norm} T_v) + \frac{1}{p} \right) \right) \end{aligned} \right) \Rightarrow \\
 H_R(p) &= \left(k_d p + k_p + \frac{k_i}{p} \right) + \\
 &+ I^\mu \left(k_{p\mu} + \frac{k_{i\mu}}{p} \right). \quad (12)
 \end{aligned}$$

The resulting controller has the structure (PID) + I^μ (PI), where the parameters.

$$\begin{aligned}
 k_d &= \frac{(b_{opt}^{norm} T_v) a_2(s)}{(a_{opt}^{norm} T_v^{1+\mu}) b(s)}, \\
 k_p &= \frac{a_2(s) + (b_{opt}^{norm} T_v) a_1(s)}{(a_{opt}^{norm} T_v^{1+\mu}) b(s)}, \\
 k_i &= \frac{a_1(s)}{(a_{opt}^{norm} T_v^{1+\mu}) b(s)}, \\
 k_{p\mu} &= \frac{(b_{opt}^{norm} T_v)}{(a_{opt}^{norm} T_v^{1+\mu}) b(s)}, \\
 k_{i\mu} &= \frac{1}{(a_{opt}^{norm} T_v^{1+\mu}) b(s)}.
 \end{aligned}$$

It is important that the operation of calculating the fractional integral (the most complex one) is performed only once.

Desired parameter $\mu \neq \mu(s)$:

$$\begin{aligned}
 H_R(p) &= \frac{\left((b_{opt}^{norm} T_v) p + 1 \right)}{\left(a_{opt}^{norm} T_v^{1+\mu} \right) b(s)} \times \\
 &\times \left(\frac{1}{p^{\mu-\mu(s)}} \left(a_2(s) + \frac{a_1(s)}{p} \right) + \frac{1}{p^{1+\mu}} \right). \quad (13)
 \end{aligned}$$

In this case, a controller with the structure () () () () s 1 PD I PI I • - • + • + has been obtained. It includes two fractional-integral elements of small positive or negative order () s • • - and of order 1 • + .

The obtained controllers provide the closed-loop system response shown in Figs. 3 and 5, respectively.

Let us implement the system model and investigate the start-up process with a linearly increasing reference signal, as well as the response to an instantaneous increase and decrease in the depth of cut, which within 0.05 s leads to a 50% change in cutting power. The coefficients are normalized for $T 0.01 \text{ s} \cdot =$, which is a typical standard time constant of electric drives.

Figure 6 shows the transient response for different selected integration orders $1 + \cdot$. It can be seen that the dynamic errors for an order of 1.5 are smaller than those for an order of 1.8. However, taking into account the identification results and the need to simplify the controller structure, tuning with an order in the range of 1.7...1.8 should be considered the most appropriate.

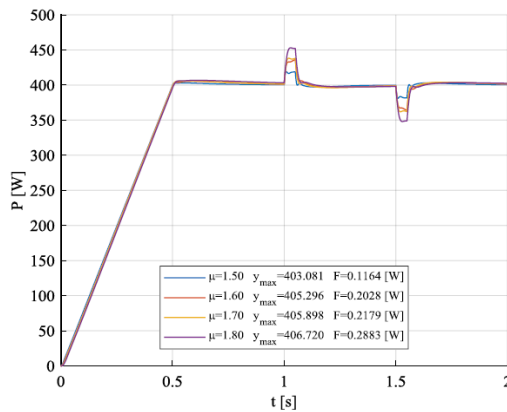


Figure 6 – Transient characteristics of cutting power during start-up and under sudden load increase and decrease

Figure 7 shows enlarged sections of the load increase and load decrease transients, which confirm the effectiveness of the proposed control system. The control action, implemented through the corresponding adjustment of the feed rate, significantly reduces the amplitude of the cutting-power disturbance from 200 W to 19 W at $\mu=1.5$ and to 39 W at the recommended value of $\mu=1.7$. The settling time of the transient response does not exceed 0.02 s.

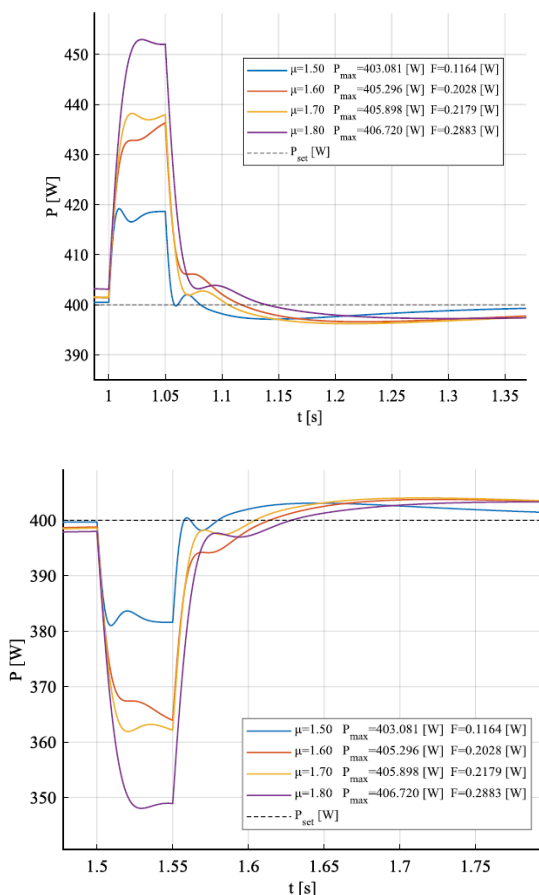
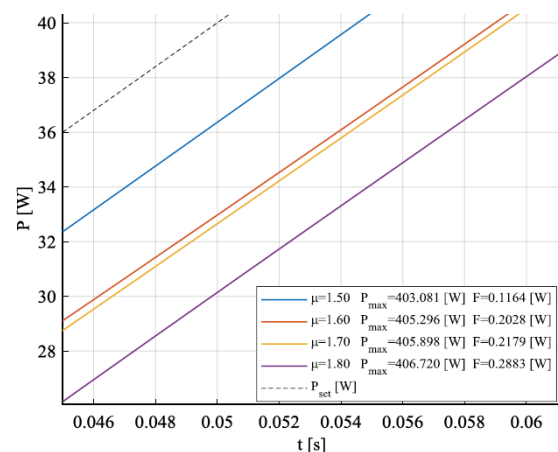


Figure 7 – Enlarged Sections of the Transient Responses to Load Application and Load Removal

Figure 8 illustrates one of the most important properties of a system with a fractional astatism order greater than unity, namely the gradual reduction of the velocity error under a linearly varying reference signal. Unlike classical first-order astatic systems, in which the velocity error approaches a constant value, systems with a fractional astatism order of $(1+\mu)$ exhibit a continuously decreasing velocity error that tends toward zero as time increases. This distinctive feature is a consequence of the additional integrating properties introduced by the use of fractional-order operators.

The obtained result demonstrates the ability of the system to track time-varying reference inputs more accurately and to compensate dynamic errors more effectively than conventional control structures. This property is particularly important for automatic cutting power control systems, where operating conditions continuously change due to technological factors such as variations in workpiece properties, cutting depth, and tool condition. Owing to the gradual reduction of the velocity error, the system is capable of maintaining the desired cutting-power level with higher accuracy, thereby improving machining quality and reducing the influence of external disturbances on system performance.

Furthermore, the tendency of the velocity error to approach zero indicates an improvement in the dynamic accuracy of the control system without requiring a substantial increase in controller gain. As a result, systems with a fractional astatism order greater than one provide an effective means of enhancing control performance while preserving favorable transient response characteristics and maintaining a sufficient stability margin. These advantages make fractional order control structures particularly attractive for high precision technological applications in which both dynamic performance and regulation accuracy are of primary importance.



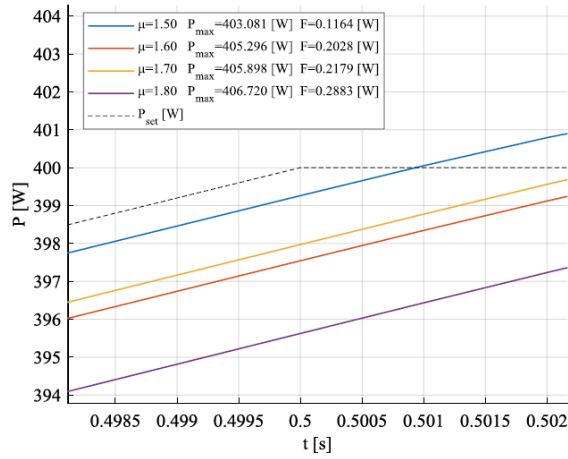


Figure 8 – Enlarged Fragments of the Initial and Final Stages of the Start-Up Process with a Linearly Increasing Reference Signal

At the beginning of the transient process, the control errors for all considered tuning variants are approximately two to four times greater than those observed at the final stage of the start-up process. This behavior is typical of systems operating under a linearly increasing reference signal, since the controlled variable initially experiences the largest dynamic mismatch caused by the limited bandwidth of the control loop and the finite response rate of the system. As the transient process progresses, the influence of the initial mismatch gradually decreases, enabling the control system to follow the reference signal with significantly higher accuracy.

The analysis of the obtained results indicates that the system with an astatism order of 1.5 exhibits the smallest dynamic error over the entire operating range and therefore provides the highest tracking accuracy. The reduced velocity error and improved transient response characteristics of this configuration are direct consequences of its dynamic properties and the selected controller parameters. From a purely theoretical control perspective, this system can be regarded as the most accurate among the investigated alternatives.

However, it should be emphasized that the objective of the considered control system is not the stabilization of speed or position, where maximum tracking accuracy is usually the primary design criterion. In the present study, the controlled variable is the cutting power of a milling process. For such technological systems, the requirements imposed on control accuracy differ considerably from those associated with motion-control applications. Small residual dynamic errors generally have only a minor influence on the overall quality of the machining process, provided that the cutting power remains within the permissible operating range.

Therefore, when selecting the optimal astatism

order, not only the achievable control accuracy but also the practical complexity of controller implementation must be taken into account. An increase in the astatism order generally leads to a more complicated controller structure, a greater number of fractional-order elements, and increased computational effort during real-time operation. Consequently, the relatively small improvement in accuracy achieved with an astatism order of 1.5 may not justify the additional implementation complexity.

For this reason, the final controller structure should be selected on the basis of a compromise between regulation accuracy and implementation simplicity. Since the differences in cutting-power stabilization accuracy among the investigated configurations are relatively small, the complexity of the controller becomes the dominant selection criterion. From this standpoint, astatism-order values within the range of 1.7–1.8 should be considered the most rational choice, as they provide sufficiently high control quality while maintaining an acceptable level of structural and computational complexity.

RESULT AND DISCUSSION

The proposed methodology for the synthesis of closed-loop cutting-power stabilization systems was evaluated through numerical optimization and simulation studies. The optimization procedure was based on the transient-performance criterion formulated in Eq. (3), which simultaneously accounts for response speed and compliance with a predefined corridor of permissible deviations. Unlike classical integral quadratic criteria, the proposed functional penalizes deviations outside the admissible range and therefore promotes the formation of transient responses with limited overshoot while preserving high dynamic performance.

The optimization of the desired transfer-function parameters was performed using a genetic algorithm implemented in MATLAB. The obtained response surfaces demonstrated a pronounced dependence of the objective function on the fractional astatism order. As shown in Fig. 2, the shape of the optimization landscape changes significantly with increasing values of the fractional parameter μ , confirming the presence of multiple local minima and justifying the use of evolutionary optimization methods instead of gradient-based approaches. The genetic algorithm successfully identified globally optimal parameter combinations for all investigated values of the fractional integration order.

The normalized optimal parameters obtained during the optimization process are summarized in Table 1. Analysis of the results indicates that both coefficients (a_{opt}) and (b_{opt}) increase nonlinearly with

increasing astatism order. For values of $(1+\mu)$ below approximately 1.5, the growth of the coefficients is relatively moderate, whereas for larger astatism orders the parameters increase rapidly. Such behavior reflects the increasing dynamic complexity of the desired closed-loop system and the necessity of stronger compensating actions to achieve the required transient performance.

The relationships between the optimized parameters are illustrated in Figs. 3 and 4. A characteristic loop can be observed in the region $(1.65 < 1+\mu < 1.75)$, indicating the presence of multiple parameter combinations that provide nearly identical values of the objective function. Although this phenomenon complicates the derivation of analytical approximations ($a_{opt}=f(\mu)$) and ($b_{opt}=f(\mu)$), it does not noticeably affect the quality of the resulting transient responses. Consequently, the optimization procedure remains robust within this parameter range.

The synthesized fractional-integral controllers were subsequently implemented in the cutting-power stabilization system and evaluated under various operating conditions. Figure 5 presents the family of normalized transient responses corresponding to the optimal parameter combinations. It can be observed that all synthesized systems provide overshoot values lower than those associated with the classical modulus optimum, while simultaneously achieving substantially faster response times. The first entrance into the admissible corridor occurs within approximately $(4.7T_0)$ for all investigated astatism orders, demonstrating the effectiveness of the proposed optimization criterion.

To assess practical performance, simulations were performed using a milling-machine cutting-power control model. The system was subjected to a linearly increasing reference signal and abrupt load variations corresponding to instantaneous changes in cutting depth. A disturbance causing a 50% variation in cutting power was applied after 0.05 s of operation. The transient responses obtained for different astatism orders are shown in Fig. 6.

The simulation results reveal that increasing the astatism order improves disturbance rejection and reduces the steady-state tracking error. The smallest dynamic deviations were observed for the system with an astatism order of 1.5. However, the improvement in accuracy becomes progressively smaller as the order decreases below the recommended range, whereas the implementation complexity of the controller increases considerably. Therefore, practical considerations require balancing dynamic performance and controller complexity.

A more detailed analysis of the load-application and load-removal transients is presented in Fig. 7. The

proposed control system effectively compensates for sudden changes in cutting conditions by automatically adjusting the feed rate. As a result, the amplitude of the cutting-power disturbance is reduced from approximately 200 W to only 19 W for $(\mu = 1.5)$ and to about 39 W for the recommended value $(\mu = 1.7)$. Furthermore, the transient duration remains below 0.02 s in all investigated cases, indicating excellent dynamic performance and rapid disturbance suppression.

An important property of systems with a fractional astatism order greater than unity is demonstrated in Fig. 8. Unlike conventional first-order astatism systems, which exhibit a constant velocity error under ramp reference signals, fractional-order systems provide a gradual reduction of the velocity error over time. This property results from the additional memory effects introduced by fractional integration operators. Consequently, the system becomes increasingly accurate during prolonged operation and is capable of tracking slowly varying technological references with higher precision.

At the beginning of the start-up process, the dynamic errors were found to be approximately two to four times larger than those observed at the final stage of the transient. This behavior is expected because the largest mismatch between the reference and controlled variables occurs during the initial acceleration period. As the transient evolves, the tracking error decreases significantly. Although the configuration with an astatism order of 1.5 demonstrated the highest accuracy, the overall differences in cutting-power stabilization performance among the investigated configurations were relatively small.

Since the controlled variable in the considered application is cutting power rather than position or speed, the ultimate selection criterion should not be based solely on tracking accuracy. The structural complexity of the controller, computational requirements, and implementation feasibility must also be considered. Taking these factors into account, astatism-order values in the range of 1.7–1.8 provide the most favorable compromise between dynamic accuracy, disturbance rejection capability, response speed, and controller simplicity.

Overall, the obtained results confirm the effectiveness of the proposed synthesis methodology. The combination of the newly developed optimization criterion, genetic-algorithm-based parameter tuning, and fractional-integral control structures makes it possible to achieve high-performance cutting-power stabilization with fast transient responses, low overshoot, and improved dynamic accuracy under variable technological operating conditions.

CONCLUSION

A methodology for the synthesis of closed-loop

cutting-power stabilization systems for milling machines based on fractional-integral controllers with an increased astatism order has been developed. The proposed approach makes it possible to shape the desired dynamic characteristics of the control system and to ensure high-accuracy maintenance of cutting power under variable technological loading conditions.

A novel transient-response performance criterion has been substantiated. The proposed criterion takes into account not only the magnitude of the control error but also the extent to which the transient response exceeds the permissible deviation corridor. In contrast to conventional optimization criteria, the proposed approach provides fast transient responses with limited overshoot, which is particularly important for control systems used in machining processes.

The optimal parameters of closed-loop systems for different values of the fractional astatism order were determined using a genetic optimization algorithm. Relationships between the optimal transfer-function coefficients and the astatism order were obtained, and the parameter regions providing the best transient-response quality were identified.

Based on the optimization results, fractional-integral controller structures for the cutting-power stabilization system were synthesized. Analytical relationships were established that make it possible to determine controller parameters according to the characteristics of the controlled plant and the required control-performance specifications. The feasibility of implementing controllers containing fractional-integral elements for the realization of systems with an astatism order greater than unity was demonstrated.

The simulation results confirmed the high effectiveness of the proposed solutions. It was established that, for load variations causing a 50% change in cutting power, the synthesized system significantly reduces the amplitude of transient power

deviations and provides rapid disturbance rejection. The transient-process duration does not exceed 0.02 s, indicating the high dynamic performance of the developed control system.

It was shown that the use of a fractional astatism order greater than one ensures a gradual reduction of the velocity-error component under a linearly varying reference signal and contributes to improved dynamic accuracy of the system. At the same time, an increase in the astatism order leads to a more complex controller structure, which should be taken into account during practical implementation.

The conducted research demonstrated that, for cutting-power stabilization problems, an astatism order in the range of 1.7–1.8 is the most appropriate choice, providing a rational compromise between control accuracy, system response speed, and the implementation complexity of the fractional-integral controller.

The practical significance of the obtained results lies in the possibility of applying them to the development of modern automatic control systems for metal-cutting machine tools and other technological installations requiring high-precision regulation of process energy parameters. The proposed methods contribute to improved stability of technological operating conditions, enhanced machining quality, and increased efficiency of industrial equipment operation.

The authors declare no conflicts of interest regarding the publication of this paper.

Copyright © 2026 by the author(s). This article is published as Open Access under the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International \(CC BY-SA 4.0\)](#) license. This license permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. Derivative works must be distributed under the same license.

REFERENCES

- [1] L. S. Kopchak, N. P. Musikhina, and M. Tverd, "Microprocessor control system of an AC machine-tool electric drive with technological parameter regulation," *Bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute". Problems of Automated Electric Drive. Theory and Practice*, no. 12, vol. 1, pp. 228–229, 2002.
- [2] Aoki Y., Sen M., Paolucci S. Approximation of transient temperatures in complex geometries using fractional derivatives. Technical Note of department of aerospace of Notre Dam, 2005. – 21 p.
- [3] Busher, V. and Aldairi, A. Synthesis and technical realization of control systems with discrete fractional integral-differentiating controllers [Text] / *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* ISSN 1729–3774. Industry Control System. – Kharkov : PC Technology Center, 2018. – Vol. 2, No 4 (94), (2018). – P. 63–71.
- [4] Busher V., Yarmolovich V. Modeling and Identification of Systems with Fractional Order Integral and Differential. *Electrotechnical and Computer Systems*. Odessa: Nauka i Technika publ., 2014 – №15(91). – P. 52–56. doi 10.15276/etks.15.91.2014.9.
- [5] Fractional dynamics and control. / Baleanu D. and oth. New York: Springer, 2012 – 309 p.
- [6] Freeborn T. J., Maundy B., A. S. Elwakil. Fractional-order models of supercapacitors, batteries and fuel cells: a survey. *Materials for Renewable and Sustainable Energy*. 2015. №4. – P. 1–7.
- [7] Marushchak Y., Kopchak B. Synthesis of automatic control systems by using binomial and Butterworth standard fractional order forms. *Computational problems of electrical engineering*, 2015 – Vol. 5, No. 2. – P. 89–94.

- [8] Norelys Aguila-Camacho, Johan D. Le Roux, Manuel A. Duarte-Mermoud, Marcos E. Orchard Control of a grinding mill circuit using fractional order controllers/ *Journal of Process Control* 2017, №53 – p. 8–94.
- [9] Busher, V., Kuznetsov, V., Kovalenko, V., Babyak, M., Druzhinin, V., Tytiuk, V., Rojek, A., Klochko, K., Gurin, I., & Shramko, Y. (2025). Fractional PI-PI μ D Controllers with Neural Network Adaptation in Control System of BLDC Motor Electric Drives. *Energies*, 18(23), 6132. <https://doi.org/10.3390/en18236132>
- [10] Valeriy Druzhinin, Victor Busher, Denis Mrachkovskiy, Valerii Tytiuk, Oleksii Chornyi, Petro Kurliak & Galina Sivyakova (2025) Improvement of human–machine interface of complex technical systems using fractional-order PI λ D μ controllers. [SUDETINGŲ TECHNINIŲ SISTEMŲ ŽMOGAUS IR MAŠINOS SĄSAJOS TOBULINIMAS NAUDOJANT TRUPMENINĖS EILĖS PIADM REGULIATORIŲ]. *ENERGETIKA*. 2025, ISSN 0235-7208 eISSN 1822-8836, Lithuania, vol. 71. Nr. 1. P. 78–91 <https://doi.org/10.6001/energetika.2025.71.1.6>
- [11] Busher, V.; Zakharchenko, V.; Shestaka, A.; Kuznetsov, V.; Kuznetsov, V.; Nader, S. Optimization of the Control of Electromagnetic Brakes in the Stand for Tuning Internal Combustion Engines Using ID Regulators of Fractional Order. *Energies* 2022, 15, 9378. <https://doi.org/10.3390/en15249378>

IT-технологиясы, энергетика, автоматтандыру және есептеу техникасы

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/152>

IMAGE DETECTION AND EMOTION RECOGNITION USING COMPUTER VISION ALGORITHMS

**Baimagambetova A. Kh.*

Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan

**Correspondent's E-mail: a.baimagambetova@tttu.edu.kz*

Author information:

Baimagambetova Altnai Khamitovna, Karaganda Industrial University, 101400, Republic Avenue, 30, Temirtau, Karaganda region, Kazakhstan, e-mail: a.baimagambetova@tttu.edu.kz

Abstract — The work developed a comprehensive method for identifying faces and recognizing emotions using modern computer vision algorithms. A comparative analysis of existing approaches to surface detection is carried out and the results of experimental studies of the effectiveness of various neural networks and Cascade classifiers are presented. A software package has been developed that combines algorithms for personality identification and emotional state classification using deep machine learning. The model was confirmed in a representative set of images showing high accuracy of facial recognition and classification of emotional states.

Keywords — computer vision, face detection, emotion recognition, neural networks, machine learning, image processing, emotion classification.

КОМПЬЮТЕРЛІК КӨРУ АЛГОРИТМЛЕРІН ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ КЕСКІНДІ АНЫҚТАУ ЖӘНЕ ЭМОЦИЯНЫ ТАҢУ

Баймагамбетова А.Х.

Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан

**Корреспондент E-mail: a.baimagambetova@tttu.edu.kz*

Авторлар туралы ақпарат:

Баймагамбетова Алтынай Хамитовна, Қарағанды индустриялық университеті, 101400, Республика даңғылы, 30, Теміртау, Қарағанды облысы, Қазақстан, e-mail: a.baimagambetova@tttu.edu.kz

Абстракт — Жұмыста заманауи компьютерлік көру алгоритмдері арқылы беттерді анықтау және эмоцияларды танудың кешенді әдісі әзірленді. Беттерді анықтаудың қолданыстағы тәсілдеріне салыстырмалы талдау жүргізіліп, әртүрлі нейрондық желілер мен каскадты классификаторлардың тиімділігін эксперименттік зерттеулердің нәтижелері ұсынылған. Терең машиналық оқытуды пайдалана отырып, тұлғаны анықтау және эмоционалдық күйді жіктеу алгоритмдерін біріктіретін бағдарламалық пакет әзірленді. Модель бет-әлпетті танудың және эмоционалдық күйлерді жіктеудің жоғары дәлдігін көрсететін бейнелердің репрезентативті жиынтығында расталды.

Кілт сөздер — компьютерлік көру, тұлғаны анықтау, эмоцияны тану, нейрондық желілер, машиналық оқыту, кескінді өңдеу, эмоцияларды жіктеу.

ОБНАРУЖЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ И РАСПОЗНАВАНИЕ ЭМОЦИЙ С ПОМОЩЬЮ АЛГОРИТМОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

Баймагамбетова А.Х.

Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

**E-mail корреспондента: a.baimagambetova@tttu.edu.kz*

Информация об авторах:

Баймагамбетова Алтынай Хамитовна, Карагандинский индустриальный университет, 101400, проспект Республики, 30, Темиртау, Карагандинская область, Казахстан, e-mail: a.baimagambetova@ttu.edu.kz

Аннотация — В работе разработан комплексный метод распознавания лиц и распознавания эмоций с помощью современных алгоритмов компьютерного зрения. Проведен сравнительный анализ существующих подходов к определению поверхностей и представлены результаты экспериментальных исследований эффективности различных нейронных сетей и каскадных классификаторов. Разработан программный пакет, сочетающий алгоритмы идентификации личности и классификации эмоциональных состояний с использованием глубокого машинного обучения. Модель была подтверждена репрезентативным набором изображений, демонстрирующих высокую точность распознавания лиц и классификации эмоциональных состояний.

Ключевые слова — компьютерное зрение, идентификация личности, распознавание эмоций, нейронные сети, машинное обучение, обработка изображений, классификация эмоций.

НЕГІЗГІ ЕРЕЖЕЛЕР

Жұмыста бет-әлпетті анықтау және эмоцияны тану әдісі құрылған бірнеше негізгі ережелер қарастырылады.

Біріншіден, бетті анықтаудың тиімділігі таңдалған алгоритмдік тәсілге тікелей байланысты-классикалық әдістер (Хаар каскадтары) жақсы жұмыс жылдамдығын көрсетеді, бірақ нейрондық желілік шешімдерден дәл төмен, әсіресе күрделі түсіру жағдайында (біркелкі емес жарықтандыру, бастың айналуы, беттің ішінара қабаттасуы).

Екіншіден, CNN, ResNet, YOLO және SSD сияқты заманауи терең оқыту архитектуралары белгілерді автоматты түрде алу арқылы зертханалық жағдайда ғана емес, нақты өмірде танудың жоғары тұрақтылығына қол жеткізуге мүмкіндік береді. Бұл ереже осы зерттеу аясында жүргізілген салыстырмалы талдаумен расталады.

Үшіншіден, эмоцияларды тану міндеті бетті анықтау процесінің жалғасы ретінде қарастырылады — яғни бет аймағын дұрыс ажыратпай, эмоционалды күйді одан әрі жіктеу мағынасын жоғалтады. Сондықтан екі процесті де-бетті анықтау және эмоцияларды жіктеу — қолданыстағы шешімдерде жиі жасалатындай бөлек қарастырудың орнына, бірыңғай бағдарламалық жасақтама құбырына біріктіру ұсынылады.

Төртіншіден, эмоцияларды жіктеудің дәлдігі көбінесе оқу үлгісінің сапасы мен әртүрлілігімен анықталады: датасеттегі жас, этникалық және бет-әлпет вариациялары неғұрлым кең ұсынылса, модель бұрын кездеспеген жаңа суреттерде соғұрлым тұрақты жұмыс істейді.

Сонымен, әзірленіп жатқан жүйе әмбебап платформа ретінде ойластырылған, оны қолдану тек бір саламен шектелмейді-оны психология, маркетингтік зерттеулер, қауіпсіздік жүйелері және

адам-машиналық өзара әрекеттесу міндеттеріне бейімдеуге болады.

КІРІСПЕ

Цифрлық трансформация дәуірінде компьютерлік көру ғылыми зерттеулер мен практикалық қолданудың маңызды саласы ретінде пайда болуда. Бет-әлпетті анықтау және эмоцияны тану технологиялары жекелендірілген пайдаланушы интерфейстерінен бастап күрделі қауіпсіздік жүйелері мен психологиялық диагностикаға дейін адам қызметінің әртүрлі салаларында негізгі құралға айналууда.

Қазіргі заманғы компьютерлік көру алгоритмдері бет-әлпеттер мен эмоционалдық күйлерді танудағы бұрын-сонды болмаған дәлдік деңгейіне қол жеткізді. Бұл машиналық оқытудағы, терең нейрондық желілердегі және компьютерлік жүйелердегі есептеу қуатын арттырудағы елеулі жетістіктердің арқасында мүмкін болды.

Беттерді анықтаудың негізгі тәсілдері.

Бетті анықтау процесі бірнеше іргелі әдістемелік тәсілдерге негізделген:

1. Геометриялық тәсіл.

- Пропорцияларды талдау және бет әлпетінің өзара орналасуы негізінде,

- Бет геометриясын сипаттау үшін математикалық модельдерді пайдаланады,

- Стандартталған түсіру жағдайында тиімді.

2. Сыртқы көрініске негізделген әдістер.

- Сурет пикселдерінің текстурасымен және қарқындылығымен жұмыс істеу,

- Статистикалық модельдерді және машиналық оқытуды қолданыңыз,

- Жарықтандыру мен бұрыштың өзгеруіне төзімдірек.

3. Терең оқытуға негізделген әдістер.

- Convolutional нейрондық желілер (CNN),

- ResNet, YOLO, SSD архитектуралары,

• Мүмкіндіктерді автоматты түрде шығару мүмкіндігі.

ӘДЕБИЕТ ШОЛУЫ

Беттерді анықтау және эмоцияларды тану мәселелеріне арналған көптеген жұмыстар бар — суреттерді өңдеудің классикалық әдістерінен бастап терең оқытуға негізделген заманауи тәсілдерге дейін.

Сандық кескінді өңдеу негіздері Гонсалес пен Вудста көрсетілген [1], ал компьютерлік көрудің қолданбалы сұрақтары шарларды қарастырады [2]. Объектілерді анықтауға маңызды үлес қосқан Виола мен Джонс [6] Хаар белгілері бойынша каскадты жіктеушіті ұсынды — бұл ұзақ уақыт бойы беттерді табудың стандартты тәсілі болды, дегенмен ол дәлдігі жағынан нейрондық әдістерден айтарлықтай төмен.

Терең оқуға көшу жағдайды өзгертті. Лекун, Бенджио және Хинтон [3] қазіргі заманғы жүйелердің көпшілігінің негізіне айналған конволюциялық желілердің жұмыс принциптерін сипаттады. Хе және оның авторлары [7] ResNet архитектурасын ұсынды, бұл тереңірек желілерді дәлдікті жоғалтпай оқытуға мүмкіндік берді, ал Редмон мен оның әріптестері [8] YOLO — ны нақты уақыт режимінде анықтауға бағытталған тәсілді ұсынды. Сонымен қатар, Google-дің [11] MediaPipe шеңберін атап өткен жөн, ол бүгінде жоғары өнімділіктің арқасында классикалық каскадты классификаторлардың орнына көбірек қолданылады.

Эмоцияны тануға келетін болсақ, негізгі принциптерді негізгі эмоционалды күйлерді және олармен байланысты бет үлгілерін жүйелеген Экман [4] белгіледі. Гудфеллоу бірлескен авторлармен [9] конкурс ұйымдастырды, онда dataset fer2013 пайда болды, оны әлі күнге дейін зерттеушілер кеңінен қолданады, ал моллахоссейни бірлескен авторлармен бірге [10] әр түрлі affectnet dataset ұсынды. Терең оқытудың теориялық негіздері Гудфеллоу, Бенджио және Курвилл монографиясында жинақталған [5] және Ли Мен Дэннің жұмысы бет эмоцияларын тануға шолу жасайды [12].

Осылайша, беттерді анықтауға және екі кезеңді бір жүйеге біріктіретін жұмыстардың эмоцияларын тануға арналған жеке шешімдердің көптігімен бұл зерттеудің өзектілігін анықтайды.

МАТЕРИАЛДАР МЕН ӘДІСТЕР

Бұл зерттеудің мақсаты қазіргі заманғы компьютерлік көру және машиналық оқыту алгоритмдерін қолдана отырып, тұлғаны анықтау және эмоцияны тану жүйесін әзірлеу және енгізу болып табылады.

Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттерді шешу қажет:

- ғылыми жұмыстарды және тұлғаны анықтау және эмоцияны танудың заманауи алгоритмдерінің сипаттамаларын қарастыру;

- әзірленетін жүйенің талаптары мен функционалдығын анықтау;

- Әр түрлі түсіру жағдайларына төзімді бетті анықтау алгоритмдерін зерттеңіз және енгізіңіз,

- Бет ерекшеліктерін талдау негізінде эмоцияны тану жүйесінің жұмыс істеу моделі мен әдісін әзірлеу;
- Бет-әлпетті анықтау және эмоцияны тану алгоритмдерін бір жүйеге енгізу және біріктіру;

- Әртүрлі деректер жинақтары бойынша әзірленген жүйені эксперименттік зерттеуді жүргізу.

Бұл зерттеудің негізгі бағыты тұлғаны анықтау және эмоцияны танудың тиімді алгоритмдерін зерттеу және әзірлеу болып табылады. Әзірленіп жатқан жүйе зерттеушілер мен әзірлеушілерді көрнекі ақпарат пен адамның эмоционалды күйін талдауға арналған кешенді құралдар жиынтығымен қамтамасыз етуге бағытталған. Сонымен қатар, зерттеу компьютерлік көру және жасанды интеллект саласындағы әртүрлі қолданбалы тапсырмаларға бейімделуі мүмкін әмбебап платформаны құруға бағытталған. Компьютерлік көру алгоритмдерін қолдану арқылы әзірленген бетті анықтау және эмоцияны тану жүйесі визуалды ақпаратты талдаудың кешенді тәсілі болып табылады. Бұл жаңалық зерттеушілер мен әзірлеушілерге бейне және фото материалдармен сапалы жаңа деңгейде жұмыс істеуге мүмкіндік береді. Бетті анықтау алгоритмдерін біріктіру арқылы жүйе әртүрлі жарық жағдайларына және түсіру бұрыштарына бейімделе отырып, күрделі көріністердегі беттерді тиімді анықтауға және локализациялауға қабілетті. Оның үстіне эмоцияны тану мүмкіндігі пайдаланушыларға мимика негізінде адамның эмоционалды жағдайын талдаудың қуатты құралын ұсынады. Бұл жүйені психология, маркетингтік зерттеулер және қауіпсіздік жүйелері сияқты салаларда қолдану үшін кең мүмкіндіктер ашады. Эмоциялық күйлерді лезде анықтау мүмкіндігі адамның мінез-құлқы мен әлеуметтік өзара әрекеттесуін тереңірек

талдауға мүмкіндік береді. Анықтау сезімталдығы және эмоцияны жіктеу дәлдігі сияқты конфигурацияланатын алгоритм параметрлері жүйені нақты тапсырмалар мен қолданба шарттарына бейімдеуге мүмкіндік береді. Зерттеушілер талданатын деректердің ерекшеліктеріне және нәтижелерде талап етілетін егжей-тегжейлі деңгейге байланысты жүйе өнімділігін оңтайландыра алады.

Компьютерлік көру және жасанды интеллект технологиялары қазіргі әлемде барған сайын маңызды рөл атқара беретіндіктен, бұл бетті анықтау және эмоцияны тану жүйесінің дамуы визуалды ақпаратты талдау саласындағы маңызды кадамды білдіреді. Бетті анықтау және эмоцияны тану алгоритмдерін біріктіру зерттеушілер мен әзірлеушілерге динамикалық және икемді платформаны ұсына отырып, дәстүрлі тәсілдердің шектеулерін еңсереді.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ

Бетті анықтаудың заманауи тәсілдері бірнеше негізгі алгоритмдерге негізделген:

1. Нағз каскадты классификаторы: Нағз мүмкіндіктері мен машиналық оқыту техникасына негізделген классикалық әдіс [1].

2. Конволюционды нейрондық желілер (CNN): Жоғары дәлдіктегі анықтау үшін терең машиналық оқытуды пайдаланатын заманауи тәсіл [2], [3].

3. MediaPipe бетті анықтау алгоритмі: Google ұсынған инновациялық әдіс, ол нақты уақытта жоғары өнімділікті көрсетеді [4].

ҚОРЫТЫНДЫ

Бетті анықтау және эмоцияны тану саласындағы компьютерлік көру технологиялары қарқынды дамуды көрсетуде. Әрі қарайғы зерттеулер дәлдікті арттыруға, есептеу күрделілігін азайтуға және танылатын эмоционалдық күйлердің ауқымын кеңейтуге бағытталуы керек.

Авторлар мүдделер қақтығысының жоқ екенін мәлімдейді.

Авторлық құқық © 2026 автор(лар)ға тиесілі. Бұл мақала [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International](#) (CC BY-SA 4.0) лицензиясы бойынша ашық қолжетімді болып табылады. Лицензия түпнұсқа еңбекке тиісті түрде сілтеме жасалған жағдайда, кез келген ортада пайдалануға, таратуға және қайта жариялауға рұқсат береді. Туынды материалдар осы лицензияның дәл осындай шарттарымен таратылуы тиіс.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- [1] R. Gonzalez and R. Woods, *Sandyq keskindi ondeu*. Moscow, Russia: Tekhnosfera, 2022, 1104 p.
- [2] S. A. Sharov, *Komp'iuterlik koru: algoritmdr zhane qoldanbalar*. Saint Petersburg, Russia: Piter, 2021, 512 p.
- [3] Y. LeCun, Y. Bengio, and G. Hinton, «Deep learning», *Nature*, vol. 521, pp. 436–444, 2015.
- [4] P. Ekman, *Emotions Revealed: Recognizing Faces and Feelings to Improve Communication and Emotional Life*. New York, NY, USA: Times Books, 2020, 288 p.
- [5] I. Goodfellow, Y. Bengio, and A. Courville, *Deep Learning*. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2021, 800 p.
- [6] P. Viola and M. Jones, «Rapid object detection using a boosted cascade of simple features», in *Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2001, pp. 511–518.
- [7] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, «Deep residual learning for image recognition», in *Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2016, pp. 770–778.
- [8] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi, «You only look once: Unified, real-time object detection», in *Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2016, pp. 779–788.
- [9] I. J. Goodfellow et al., «Challenges in representation learning: A report on three machine learning contests», *Neural Networks*, vol. 64, pp. 59–63, 2015.
- [10] A. Mollahosseini, B. Hasani, and M. H. Mahoor, «AffectNet: A database for facial expression, valence, and arousal computing in the wild», *IEEE Transactions on Affective Computing*, vol. 10, no. 1, pp. 18–31, 2019.
- [11] C. Lugaresi et al., «MediaPipe: A framework for building perception pipelines», *arXiv preprint arXiv:1906.08172*, 2019.
- [12] S. Li and W. Deng, «Deep facial expression recognition: A survey», *IEEE Transactions on Affective Computing*, vol. 13, no. 3, pp. 1195–1215, 2022.

ENERGY EFFICIENCY OF THE ELECTRIC POWER GENERATION SECTOR OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

^{1*}*Nikulshin A.V.*, ^{2,3,4}*Shishkanov S.V.*, ¹*Kuntush Ye.V.*, ¹*Bayassilova Z.A.*, ¹*Siverskaya T.I.*,

¹*Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan*

²*Solar Power Plant «Saran» 100 MW, Saran, Kazakhstan*

³*Solar Power Plant «Agadyr-1» 50 MW, Agadyr, Kazakhstan*

⁴*Solar Power Plant «Agadyr-2» 26 MW, Agadyr, Kazakhstan*

**Correspondent's E-mail: nikulshin2002@mail.ru*

Author information:

Alexandr Vadimovich Nikulshin, Master's Student, Karaganda Industrial University, 101400, Republic Ave., 30, Temirtau, Kazakhstan, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-0701-7624>, e-mail: nikulshin2002@mail.ru

Sergey Vladimirovich Shishkanov, Master, Chief Engineer, Saran Solar Power Plant (100 MW), 101200, Zhambyl Street, 85V, Saran, Kazakhstan, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-4918-1326>, e-mail: cpe_shishkanov@mail.ru

Yelena Viktorovna Kuntush, PhD, Senior Lecturer, Karaganda Industrial University, 101400, Republic Ave., 30, Temirtau, Kazakhstan, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0995-7074>, e-mail: ye.kuntush@ttu.edu.kz

Zukhra Anuarovna Bayassilova, PhD, Senior Lecturer, Karaganda Industrial University, 101400, Republic Ave., 30, Temirtau, Kazakhstan, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9012-0994>, e-mail: z.bayassilova@ttu.edu.kz

Tatyana Ivanovna Siverskaya, Master, Senior Lecturer, Karaganda Industrial University, 101400, Republic Ave., 30, Temirtau, Kazakhstan, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4447-3796>, e-mail: t.siverskaya@ttu.edu.kz

Abstract — Under the conditions of the dominance of thermal, primarily coal-fired, generation and the significant role of combined heat and power plants in the electric power industry of the Republic of Kazakhstan, the issue of energy efficiency of the electric power generation sector acquires systemic technical and economic significance. The purpose of this article is to briefly present this issue as an independent subject of scientific and sectoral consideration. It is shown that the contemporary energy agenda usually prioritizes decarbonization, the development of renewable energy sources, hydrogen energy, and the technological modernization of power systems, whereas the energy efficiency of the electric power generation sector itself much less frequently becomes an independent object of analysis. At the same time, this aspect determines the cost-effectiveness of power generation, the stability of electricity and heat supply, the level of a plant's internal consumption, and the nature of further modernization of the generation complex. The article reveals the sector-specific features of Kazakhstan's electric power industry, the strategic priorities of state policy, and the main approaches to understanding the energy efficiency of generation. The necessity of an integrated approach to improving its efficiency is substantiated.

Keywords — energy efficiency, electric power generation sector, electric power industry of Kazakhstan, thermal power generation, thermal power plants, combined heat and power plants, power plant modernization.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСЫН ӨНДІРУ СЕКТОРЫНЫҢ ЭНЕРГИЯ ТИІМДІЛІГІ

^{1*}*Никольшин А.В.*, ^{2,3,4}*Шишканов С.В.*, ¹*Кунтуш Е.В.*, ¹*Баясилова З.А.*, ¹*Сиверская Т.И.*,

¹*Қарағанды Индустриялық Университеті, Теміртау, Қазақстан Республикасы*

²*«Саран» 100 МВт Күн Электр Станциясы, Сарань, Қазақстан Республикасы*

³*«Ақадыр-1» 50 МВт Күн Электр Станциясы, Ақадыр, Қазақстан Республикасы*

⁴*«Ақадыр-2» 26 МВт Күн Электр Станциясы, Ақадыр, Қазақстан Республикасы*

**Корреспондент E-mail: nikulshin2002@mail.ru*

Авторлар туралы ақпарат:

Никольшин Александр Вадимович, магистрант, Қарағанды индустриялық университеті, 101400, Республика даңғылы, 30, Теміртау, Қазақстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-0701-7624>, e-mail: nikulshin2002@mail.ru

Шишканов Сергей Владимирович, магистр, бас инженер, «Сарань» 100 МВт күн электр станциясы, 101200, Жамбыл көшесі, 85В, Сарань, Қазақстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-4918-1326>, e-mail: cpe_shishkanov@mail.ru

Кунтуш Елена Викторовна, PhD, аға оқытушы, Қарағанды индустриялық университеті, 101400, Республика даңғылы, 30, Теміртау, Қазақстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0995-7074>, e-mail: ye.kuntush@tttu.edu.kz

Баясилова Зухра Ануаровна, PhD, аға оқытушы, Қарағанды индустриялық университеті, 101400, Республика даңғылы, 30, Теміртау, Қазақстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9012-0994>, e-mail: z.bayassilova@tttu.edu.kz

Сиверская Татьяна Ивановна, магистр, аға оқытушы, Қарағанды индустриялық университеті, 101400, Республика даңғылы, 30, Теміртау, Қазақстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4447-3796>, e-mail: t.siverskaya@tttu.edu.kz

Абстракт — Қазақстан Республикасының электр энергетикасында жылу, ең алдымен көмір негізіндегі генерацияның басымдығы және жылу электр орталықтарының елеулі рөлі жағдайында электр энергиясын өндіру секторының энергия тиімділігі мәселесі жүйелі техникалық-экономикалық маңызға ие болады. Мақаланың мақсаты — аталған мәселені ғылыми және салалық тұрғыдан дербес қарастыру нысаны ретінде қысқаша ұсыну. Қазіргі энергетикалық күн тәртібінде басым назар, әдетте, декарбонизацияға, жаңартылатын энергия көздерін дамытуға, сутегі энергетикасына және энергожүйелерді технологиялық жаңғыртуға аударылатыны, ал электр энергиясын өндіру секторының энергия тиімділігі дербес талдау нысаны ретінде анағұрлым сирек қарастырылатыны көрсетілді. Сонымен қатар дәл осы аспект электр энергиясын өндірудің үнемділігін, электр және жылумен жабдықтаудың тұрақтылығын, станцияның ішкі шығындарының деңгейін және генерирлеуші кешенді одан әрі жаңғырту сипатын айқындайды. Мақалада Қазақстан электр энергетикасының салалық ерекшеліктері, мемлекеттік саясаттың стратегиялық бағдарлары және генерацияның энергия тиімділігін

Кілт сөздер — энергия тиімділігі, электр энергиясын өндіру секторы, Қазақстанның электр энергетикасы, жылу генерациясы, жылу электр станциялары, жылу электр орталықтары, электр станцияларын жаңғырту.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭЛЕКТРОГЕНЕРИРУЮЩЕГО СЕКТОРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

^{1*}Никольшин А.В., ^{2,3,4}Шишканов С.В., ¹Кунтуш Е.В., ¹Баясилова З.А., ¹Сиверская Т.И.,

¹Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

²СЭС «Сарань» 100 МВт, Сарань, Казахстан

³СЭС «Агадырь-1» 50 МВт, Агадырь, Казахстан

⁴СЭС «Агадырь-2» 26 МВт, Агадырь, Казахстан

*E-mail корреспондента: nikulshin2002@mail.ru

Информация об авторах:

Никольшин Александр Вадимович, магистрант, Карагандинский индустриальный университет, 101400, проспект Республики, 30, Темиртау, Казахстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-0701-7624>, e-mail: nikulshin2002@mail.ru

Шишканов Сергей Владимирович, магистр, главный инженер, СЭС «Сарань» 100 МВт, 101200, ул. Жамбыла, 85В, Сарань, Казахстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-4918-1326>, e-mail: cpe_shishkanov@mail.ru

Кунтуш Елена Викторовна, PhD, старший преподаватель, 101400, Карагандинский индустриальный университет, 101400, проспект Республики, 30, Темиртау, Казахстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0995-7074>, e-mail: ye.kuntush@tttu.edu.kz

Баясилова Зухра Ануаровна, PhD, старший преподаватель, 101400, Карагандинский индустриальный университет, 101400, проспект Республики, 30, Темиртау, Казахстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9012-0994>, e-mail: z.bayassilova@tttu.edu.kz

Сиверская Татьяна Ивановна, магистр, старший преподаватель, 101400, Карагандинский индустриальный университет, 101400, проспект Республики, 30, Темиртау, Казахстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4447-3796>, e-mail: t.siverskaya@tttu.edu.kz

Аннотация — В условиях преобладания тепловой, прежде всего угольной, генерации и значимой роли ТЭЦ в электроэнергетике Республики Казахстан проблема энергоэффективности электрогенерирующего сектора приобретает системное технико-экономическое значение. Цель статьи состоит в кратком представлении данной проблемы как самостоятельного предмета научного и отраслевого рассмотрения. Показано, что в современной энергетической повестке приоритетное внимание обычно сосредоточено на декарбонизации, развитии возобновляемых источников энергии, водородной энергетике и технологической модернизации энергосистем, тогда как энергоэффективность собственно электрогенерирующего сектора значительно реже становится самостоятельным объектом анализа. Между тем именно этот аспект определяет экономичность выработки,

устойчивость электро- и теплоснабжения, уровень внутренних затрат станции и характер дальнейшей модернизации генерирующего комплекса. В статье раскрываются отраслевая специфика электроэнергетики Казахстана, стратегические ориентиры государственной политики и основные подходы к пониманию энергоэффективности генерации. Обоснована необходимость комплексного подхода к повышению ее эффективности.

Ключевые слова — энергоэффективность, электрогенерирующий сектор, электроэнергетика Казахстана, тепловая генерация, теплоэлектростанции, теплоэлектроцентрали, модернизация электростанций.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Установлено, что структура электрогенерирующего сектора Республики Казахстан почти на 78% сформирована тепловыми электростанциями, а доля угольной генерации приближается к 54% суммарной установленной мощности всех станций страны. Показано, что энергоэффективность генерации нельзя свести к одному показателю — она складывается из совокупности технико-экономических характеристик работы станции, включая режимы оборудования и параметры тепловой схемы. Определено, что заметная часть резервов повышения эффективности сосредоточена не столько в основном цикле выработки, сколько в системе собственных нужд станций и в режимах комбинированной выработки ТЭЦ. Обоснована необходимость комплексного подхода к оценке энергоэффективности генерирующего сектора, при котором топливная экономичность рассматривается вместе с надёжностью оборудования и его техническим состоянием. Полученное понимание проблемы может быть использовано при подготовке отраслевых программ модернизации генерирующих мощностей Казахстана.

ВВЕДЕНИЕ

В современной энергетической повестке приоритетное внимание, как правило, сосредоточено на вопросах декарбонизации, развитии возобновляемых источников энергии (ВИЭ), водородной энергетике и технологической модернизации энергосистем. Вместе с тем проблема энергоэффективности собственно электрогенерирующего сектора, то есть эффективности преобразования топливно-энергетических ресурсов в электрическую и тепловую энергию с учетом внутренних затрат и режимных особенностей работы станций, значительно реже становится самостоятельным предметом анализа. Между тем именно этот аспект во многом определяет не только экономичность выработки, но и устойчивость электро- и теплоснабжения, что в климатических условиях

Казахстана (резко континентальный климат на большей части территории) имеет критически важное, жизнеобеспечивающее значение, а также формирует уровень топливной нагрузки на отрасль и характер дальнейшей модернизации генерирующего комплекса [1,2].

Целью настоящей статьи является рассмотрение проблемы энергоэффективности электрогенерирующего сектора Республики Казахстан как самостоятельного предмета научного и отраслевого анализа.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Вопросы энергоэффективности электрогенерации рассматривались в литературе с разных сторон, и если проследить публикации по годам, видно, как менялся сам угол зрения на проблему — от чисто технического к более комплексному.

Одной из ранних работ, где ставится вопрос об эффективности собственно энергоустановок ТЭС, можно назвать статью Яковлева Б.В. и Гринчука А.С. [8], где показано, что рост экономичности станций связан с параметрами пара, применяемыми схемами (парогазовыми в частности) и общим техническим уровнем оборудования — то есть уже тогда авторы указывали, что одной лишь заменой топлива задачу эффективности не решить. Несколько позже, в работе Шевченко В.В. [9], тема энергоэффективности энергетики рассмотрена шире — не только с технической, но и с организационно-управленческой стороны, обозначены направления деятельности, которые должны обеспечивать эффективность на уровне отрасли в целом, а не отдельной станции.

Параллельно с этим в литературе развивалось и экономическое понимание энергоэффективности. Так, Галеева А.Р. и Газизова О.В. [10] связывают энергоэффективность непосредственно с устойчивым развитием экономики страны, показывая, что снижение энергоёмкости — не самоцель, а условие конкурентоспособности и ресурсной устойчивости экономики в целом. Близкие по духу выводы содержатся и в работе Данабаевой Р. [11], где на материале Казахстана обосновывается значимость устойчивого развития

энергетического сектора именно как экономической, а не только технологической задачи — это в целом соответствует и стратегическим ориентирам, зафиксированным в Концепции по переходу РК к «зелёной экономике» [4].

Что касается непосредственно электрогенерирующего сектора Казахстана, здесь опорными являются официальные данные и нормативные документы — статистика Бюро национальной статистики [1], справочник по наилучшим доступным техникам [2] и годовой отчёт АО «KEGOC» [3], которые формируют фактическую базу для анализа структуры отрасли и доли отдельных типов станций.

Более специализированные технические работы последних лет углубляют понимание отдельных механизмов эффективности. Титов Д.В. [5] обобщает современные инструменты энергосбережения — энергоаудит, частотно-регулируемые приводы, рекуперацию тепла, — показывая, что без сочетания организационных и технических мер заметного эффекта не добиться. Белобородов С.С. с соавторами [6] выявляет, что при переходе ТЭЦ из комбинированного в конденсационный режим эффективность и экологичность производства резко падают, и обосновывает важность режимов, при которых теплофикационная выработка сохраняется даже в пиковые периоды. Нажимова А.М. и Хабибулина А.Х. [7], в свою очередь, показывают, что заметная доля резервов энергосбережения находится не в основном контуре станции, а именно в собственных нуждах — работе вспомогательных электроприводов, насосного оборудования и т.п.

Таким образом, если проследить эволюцию подходов — от чисто технических оценок эффективности энергоустановок [8] к комплексному, экономическому и стратегическому пониманию проблемы [9–11], а также к детальному техническому анализу отдельных узлов станций [5–7] — видно, что энергоэффективность электрогенерации всё чаще трактуется именно как многофакторная, а не однопоказательная характеристика. Именно эта логика и определяет методологическую рамку настоящего исследования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалами исследования послужили официальные статистические, нормативные, отраслевые и научные источники, отражающие современное состояние электрогенерирующего

сектора Республики Казахстан и подходы к оценке его энергоэффективности. Информационную основу составили данные Бюро национальной статистики Республики Казахстан, сведения годового отчёта АО «KEGOC» за 2024 г., а также положения Концепции по переходу Республики Казахстан к «зелёной экономике» и справочника по наилучшим доступным техникам в области энергетической эффективности [1–4]. Теоретическую основу исследования составили публикации, посвящённые вопросам повышения энергоэффективности в электроэнергетике, системной эффективности ТЭЦ и энергоресурсосбережения в системе собственных нужд теплоэлектростанций [5–7].

Методическую основу статьи составили методы анализа и синтеза, сравнительный и структурно-логический анализ, а также проблемно-аналитический подход к интерпретации статистических, нормативных и литературных данных. В ходе исследования были рассмотрены материалы, характеризующие структуру электроэнергетики Казахстана, роль тепловой генерации в производстве электрической и тепловой энергии, а также основные направления повышения энергоэффективности генерирующих объектов. Это позволило представить энергоэффективность электрогенерирующего сектора как комплексную технико-экономическую характеристику, связанную с режимами работы оборудования, собственными нуждами станций, показателями топливной экономичности и особенностями функционирования ТЭЦ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для Казахстана указанная проблематика имеет особенно важное значение в силу отраслевой структуры электроэнергетики. По данным Акционерного общества «Казахстанская компания по управлению электрическими сетями» (АО «KEGOC»), производство электрической энергии в стране осуществляют 233 электростанции, при этом общая установленная мощность на 01.01.2025 г. составляла 25 314,2 МВт, а располагаемая мощность — 18 890,3 МВт [3]. Основу электроэнергетики Казахстана составляют тепловые электростанции (ТЭС) — 19 740,8 МВт, или 78% установленной мощности; мощность угольных электростанций достигает 13 592 МВт, что соответствует 69% мощности всех ТЭС и 53,7% мощности всех электростанций страны [3]. Электроэнергетика республики остается преимущественно угольной: около 70%

электроэнергии вырабатывается на угольных электростанциях, тогда как доля теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) в структуре выработки электроэнергии составляет 45%, а в производстве тепла — более 62% [2]. В этих условиях вопрос энергоэффективности генерации имеет не частный, а системный характер, поскольку формирует как топливную экономичность электростанций, так и устойчивость электро- и теплоснабжения промышленной и социальной сферы [2,3].

Дополнительную значимость рассматриваемой теме придают стратегические ориентиры государственной политики. В Концепции по переходу Республики Казахстан к «зеленой экономике» [4] прямо указано, что Стратегией «Казахстан-2050» были поставлены четкие ориентиры на построение устойчивой и эффективной рыночной модели экономики при переходе страны на «зеленый» путь развития. Концепция связывает снижение энергоемкости валового внутреннего продукта (ВВП) с энергосбережением и повышением энергоэффективности, а развитие сектора электроэнергетики — с ростом доли ВИЭ, технологиями улавливания и хранения углерода и постепенным сокращением угольной генерации. В числе целевых ориентиров зафиксированы снижение энергоемкости ВВП на 15% к 2030 г., на 25% к 2040 г. и на 35% к 2050 г. от уровня 2021 года, а также увеличение доли возобновляемых и альтернативных источников энергии в общей выработке электроэнергии до 15%, 30% и 50% соответственно [4]. Из этого следует, что анализ энергоэффективности электрогенерирующего сектора следует рассматривать не только как технико-экономическую, но и как стратегическую задачу, связанную с долгосрочной трансформацией национальной энергетики [3,4].

Энергоэффективность электрогенерирующего сектора должна рассматриваться как комплексная характеристика, включающая удельные расходы топлива, полезный отпуск энергии, собственные нужды станции, режимы работы оборудования, показатели надежности и технического состояния генерирующих мощностей, а также параметры тепловой схемы станции, в том числе организацию регенерации и эффективность конденсационного режима, определяющие уровень термодинамической и топливной эффективности станции. Использование одного показателя не обеспечивает полной оценки эффективности работы генерирующих объектов. В этом состоит

принципиальная особенность самой постановки вопроса: речь идет не только о снижении расхода топлива, но и о качестве режима работы станции, полноте использования теплового потенциала, масштабе внутренних затрат и способности оборудования обеспечивать устойчивую работу в меняющихся условиях нагрузки.

Представленные в научной литературе подходы в целом согласуются с таким пониманием проблемы. В работе Титова Д.В. [5] показано, что повышение энергоэффективности связано не только с экономией энергоресурсов, но и с сокращением выбросов, снижением негативного воздействия на окружающую среду и использованием современных инструментов энергосбережения. В числе таких инструментов рассматриваются энергоаудит, частотно-регулируемые приводы, энергоэффективные двигатели, улучшение коэффициента мощности и рекуперация отработанного тепла [5]. Для рассматриваемой темы это важно потому, что задает общий методологический фон: повышение энергоэффективности требует сочетания организационных, режимных и технических решений.

Существенное значение для электроэнергетики Казахстана имеет и логика системной эффективности ТЭЦ. В работе Белобородова С.С. и соавторов [6] подчеркивается, что при работе в режиме комбинированной выработки электрической энергии и тепла ТЭЦ обеспечивает высокие показатели ресурсосбережения, тогда как при переходе в конденсационный режим эффективность и экологичность производства существенно снижаются. Авторы обосновывают необходимость такого состава оборудования и таких режимов работы, которые позволяли бы ТЭЦ эффективно функционировать в пиковых и полупиковых режимах. Представленные в статье результаты показывают, что для высокоманевренной ТЭЦ коэффициент использования тепла топлива в отопительный период может составлять 80–85%, а в сравнении с раздельным производством тепловая схема в режиме когенерации демонстрирует снижение расхода топлива до 74,6% и выбросов NOx до 60,8% [6]. Для Казахстана данный вывод особенно значим в связи с высокой ролью ТЭЦ в теплоснабжении и необходимостью учитывать не только электрический, но и тепловой контур энергосистемы.

Отдельное значение для рассматриваемой проблемы имеет анализ системы собственных нужд

ТЭС, представленный в работе [7]. Авторы показывают, что значительная часть резервов энергосбережения связана не с основным циклом выработки энергии, а с работой вспомогательного оборудования, прежде всего электроприводов насосных и иных установок; в качестве одного из решений рассматривается применение частотно-регулируемого привода для питательного электронасоса мощностью 4000 кВт [7]. Такой вывод имеет принципиальное значение для оценки энергоэффективности генерации, поскольку позволяет рассматривать внутреннее потребление станции не как второстепенный фон, а как самостоятельный объект оптимизации.

Таким образом, применительно к электрогенерирующему сектору Республики Казахстан проблема энергоэффективности должна пониматься шире, чем задача снижения удельного расхода топлива. Она включает совершенствование технико-экономической оценки работы станций, оптимизацию режимов комбинированной выработки на ТЭЦ, сокращение использования энергетического ресурса на собственные нужды, повышение эффективности вспомогательного оборудования, модернизацию тепловых схем, использование котлов-утилизаторов, а также вовлечение вторичных энергоресурсов и низкопотенциального тепла в полезный отпуск электроэнергии [1–7]. Именно такое понимание позволяет связать отраслевую специфику Казахстана, требования надежности теплоснабжения и долгосрочные ориентиры энергетического перехода в единую исследовательскую рамку.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Электроэнергетика Республики Казахстан характеризуется преобладанием тепловой генерации, в том числе высокой долей угольных электростанций и значимой ролью ТЭЦ в производстве электрической и тепловой энергии. Это определяет актуальность анализа энергоэффективности электрогенерирующего сектора как самостоятельного объекта исследования. В условиях, когда государственная политика ориентирована на снижение энергоемкости экономики, расширение доли возобновляемых и альтернативных источников энергии и поэтапную трансформацию электроэнергетики, вопрос эффективности базового генерирующего контура приобретает не только отраслевое, но и стратегическое значение.

Проведенное обобщение показывает, что

энергоэффективность генерации не сводится к одному показателю. Она определяется совокупностью взаимосвязанных характеристик, включающих удельные расходы топлива, полезный отпуск электрической и тепловой энергии, собственные нужды станции, режимы работы оборудования, показатели надежности, технического состояния и параметры тепловой схемы. Поэтому корректная постановка проблемы требует комплексного подхода, при котором оценка эффективности электростанции увязывается с особенностями комбинированной выработки, внутренним потреблением энергии и качеством технического состояния оборудования.

Основными направлениями повышения энергоэффективности электрогенерирующего сектора выступают совершенствование оценки технико-экономических показателей, оптимизация режимов комбинированной выработки электрической и тепловой энергии на ТЭЦ, сокращение использования энергетического ресурса на собственные нужды, повышение эффективности вспомогательного оборудования и техническая модернизация электростанций. Наряду с этим существенное значение имеют внутрисхемная модернизация тепловых установок, использование котлов-утилизаторов и вовлечение вторичных энергетических ресурсов. В совокупности это формирует не только практическую рамку повышения эффективности действующих генерирующих мощностей, но и более широкий исследовательский контур, в пределах которого энергоэффективность электрогенерирующего сектора Казахстана должна рассматриваться как одно из приоритетных направлений научного анализа, отраслевого регулирования и технологической модернизации, непосредственно связанное с надежностью электро- и теплоснабжения, рациональным использованием топливных ресурсов и долгосрочной устойчивостью развития национальной энергетики.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ВКЛАД АВТОРОВ

Никульшин А.В. выполнил поиск и анализ научных источников, подготовил список литературы и участвовал в написании текста статьи. Шишканов С.В. сформулировал идею исследования, обеспечил подбор отраслевых материалов и участвовал в содержательной разработке статьи. Кунтуш Е.В. осуществляла

научное руководство и общее научное редактирование рукописи. Баясилова З.А. участвовала в аналитической обработке материалов и внутреннем согласовании структуры статьи. Сиверская Т.И. принимала участие в подготовке и оформлении рукописи, а также в согласовании итоговой версии текста.

Все авторы одобрили окончательную версию статьи.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают искреннюю благодарность организаторам LVI Республиканской научно-практической конференции «Развитие человеческого капитала, технического образования, инженерной науки и инноваций как стратегическое

направление деятельности государства» за предоставленную возможность рекомендации и последующей публикации статьи в журнале «Вестник КГИУ».

Авторское право © 2026 принадлежит автору(ам).

Данная статья распространяется на условиях открытого доступа в соответствии с лицензией [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) (CC BY-SA 4.0). Лицензия разрешает свободное использование, распространение и воспроизведение в любой форме при условии обязательного указания авторства и сохранения той же лицензии для производных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Журнальные статьи

- [1] Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. Статистика энергетики. Топливо-энергетический баланс Республики Казахстан (2024г.). – URL: <https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-energy/publications/335610/> (дата обращения: 20.03.2026).
- [2] Постановление Правительства Республики Казахстан от 23 января 2024 года № 24. Об утверждении справочника по наилучшим доступным техникам «Энергетическая эффективность при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности». – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2400000024> (дата обращения: 21.03.2026).
- [3] АО «Казахстанская компания по управлению электрическими сетями» (KEGOC). Годовой отчет за 2024 год. – URL: <https://ar2024.kegoc.kz/ru> (дата обращения: 22.03.2026).
- [4] Указ Президента Республики Казахстан от 30 мая 2013 года № 577. О Концепции по переходу Республики Казахстан к «зеленой экономике». – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U1300000577> (дата обращения: 22.03.2026).
- [5] Титов Д.В. Современные методы и подходы к повышению энергоэффективности в электроэнергетике в условиях устойчивого развития // Международный журнал «Вестник науки». – 2025. – Т. 3, № 1(82). – С. 1460-1464.
- [6] Белобородов С.С., Дудолин А.А., Лисин Е.М., Киндра В.О. Повышение системной эффективности ТЭЦ как фактор перехода к ресурсосберегающей и экологически безопасной энергетике // Вестник КГЭУ. – 2021. – Т. 13, № 3(51). – С. 135-145.
- [7] Нажимова А.М., Хабибулина А.Х. Энергоресурсосбережение в системе собственных нужд теплоэлектростанции // Электротехнические системы и комплексы. – 2013. – № 21. – С. 293-297.
- [8] Яковлев Б.В., Гринчук А.С. Эффективность современных энергоустановок ТЭС // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2007. – №1. – С. 41–51.
- [9] Шевченко В.В. Направления деятельности по обеспечению энергоэффективности энергетики // Международный промышленный журнал «Мир Техники и Технологий». – Харьковская область, г. Чугуев, 2013. – №5(138). – С. 26–35. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.2549844>
- [10] Галеева А.Р., Газизова О.В. Энергоэффективность – основа устойчивого развития экономики страны // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17, № 8. – С. 372–376.
- [11] Danabayeva R. The importance of sustainable energy development in Kazakhstan // Хабаршысы. Экономика сериясы (Вестник. Серия экономическая). – 2015. – Т. 86, № 4.

REFERENCES

- [1] Bjuro nacional'noj statistiki Agentstva po strategicheskemu planirovaniju i reformam Respubliki Kazahstan. Statistika jenergetiki. Toplivno-jenergeticheskij balans Respubliki Kazahstan (2024g.). Available at: <https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-energy/publications/335610/> (accessed: 20.03.2026).
- [2] Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazahstan ot 23 janvarja 2024 goda № 24. Ob utverzhdenii spravocznika po nailuchshim dostupnym tehnikam «Jenergeticheskaja jeffektivnost' pri osushhestvlenii hozjajstvennoj i (ili) inoj dejatel'nosti». Available at: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2400000024> (accessed: 21.03.2026).

- [3] АО «Kazhstanskaja kompanija po upravleniju jelektricheskimi setjami» (KEGOC). Godovoj otchet za 2024 god. Available at: <https://ar2024.kegoc.kz/ru> (accessed: 22.03.2026).
- [4] Ukaz Prezidenta Respubliki Kazahstan ot 30 maja 2013 goda № 577. O Konceptii po perehodu Respubliki Kazahstan k «zelenoj jekonomike». Available at: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U1300000577> (accessed: 22.03.2026).
- [5] Titov D.V. Sovremennye metody i podhody k povysheniju jenergojeffektivnosti v jelektrojenergetike v uslovijah ustojchivogo razvitija // Mezhdunarodnyj zhurnal “Vestnik nauki”. – 2025. – Vol. 3, No. 1(82). – P. 1460–1464.
- [6] Beloborodov S.S., Dudolin A.A., Lisin E.M., Kindra V.O. Povyshenie sistemnoj jeffektivnosti TJeC kak faktor perehoda k resursosberegajushhej i jekologicheski bezopasnoj jenergetike // Vestnik KGJeU. – 2021. – Vol. 13, No. 3(51). – P. 135–145.
- [7] Nazhimova A.M., Habibulina A.H. Jenergoresursosberezhenie v sisteme sobstvennyh nuzhd teplojelektrostantsii // Jeletrotehnicheskie sistemy i komplekсы. – 2013. – No. 21. – P. 293–297.
- [8] Yakovlev B.V., Grinchuk A.S. Efficiency of modern thermal power plants // Energy. Izvestia of Higher Educational Institutions and Energy Associations of the CIS, 2007, No. 1, pp. 41-51.
- [9] Shevchenko V.V. Directions of energy efficiency activities // The international industrial magazine "The World of Engineering and Technologies". – Kharkiv region, Chuguev, 2013. – №5(138). – Pp. 26-35. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.2549844>
- [10] Galeeva A.R., Gazizova O.V. Energy efficiency is the basis of sustainable development of the country's economy // Bulletin of Kazan Technological University. – 2014. – Vol. 17, No. 8. – pp. 372-376.
- [11] Danabayeva R. The importance of sustainable energy development in Kazakhstan // Khabarshysy. Economics of the series (Bulletin. The economic series). – 2015. – Vol. 86, No. 4.

Экономика. Жалпы білім беретін, әлеуметтік-гуманитарлық және іргелі пәндер.

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/144>

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN STUDENTS' PHYSICAL TRAINING: A PILOT EXPERIMENTAL STUDY

Mosunov A.L.

Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan

** Correspondent's E-mail: a.mosunov@tttu.edu.kz*

Author information:

Mosunov Alexander Lvovich, Karaganda Industrial University, 101400, Republic Avenue, 30, Temirtau, Karaganda region, Kazakhstan, e-mail: a.mosunov@tttu.edu.kz

Abstract — This paper reports an 8-week pilot controlled experiment evaluating artificial intelligence (AI) support in university students' physical training. A control group followed a standard curriculum, while an experimental group used AI driven load adjustment based on wearable data (heart rate, intensity zones, and recovery dynamics). Outcomes included the 12-min Cooper test, plank time, Ruffier index, and heart-rate recovery time after a step test. AI-supported training produced significantly larger improvements in endurance and recovery metrics, and it was associated with increased daily physical activity. Practical implementation requirements, data-quality limitations and privacy considerations are discussed.

Keywords — artificial intelligence; physical training; university students; load personalization; monitoring; wearables; heart rate; Ruffier index; recovery; digital pedagogy.

СТУДЕНТТЕРДІҢ ДЕНЕ ДАЙЫНДЫҒЫНДАҒЫ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ: ПИЛОТТЫҚ ЭКСПЕРИМЕНТТІК ЗЕРТТЕУ

Мосунов А.Л.

Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан

** Корреспондент E-mail: a.mosunov@tttu.edu.kz*

Авторлар туралы ақпарат:

Мосунов Александр Львович, Қарағанды индустриялық университеті, 101400, Республика даңғылы, 30, Теміртау, Қарағанды облысы, Қазақстан, e-mail: a.mosunov@tttu.edu.kz

Абстракт — Мақалада студенттерді дене шынықтырумен және спортпен белсенді айналысуға ынталандыратын себептер, студенттердің өмір салты, олардың физикалық жағдайын басқару мәселелері қарастырылады. Студент бос уақытын дұрыс бөліп, оны оқуға, денені шынықтыруға, дұрыс тамақтануға және жеткілікті ұйқыға арнай білуі тиіс. Спорттық секцияларда өткізілетін сабақтар студенттерді салауатты өмір салтын ұстануға ынталандырады.

Кілт сөздер — мотивация, дене шынықтыру, студенттер, жоғары мектеп, білім беру үдерісі, денсаулық, спорт түрлері, жасанды интеллект.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ФИЗИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ: ПИЛОТНОЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Мосунов А.Л.

Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

** E-mail корреспондента: a.mosunov@tttu.edu.kz*

Информация об авторах:

Мосунов Александр Львович, Карагандинский индустриальный университет, 101400, проспект Республики, 30, Темиртау, Карагандинская область, Казахстан, e-mail: a.mosunov@tttu.edu.kz

Аннотация — В статье представлены результаты 8-недельного пилотного эксперимента по оценке эффективности применения искусственного интеллекта (ИИ) в цифровом сопровождении физической подготовки студентов. В контрольной группе использовалась традиционная программа, тогда как в экспериментальной группе реализовывалась индивидуализация нагрузки с помощью ИИ-алгоритма на основе данных, получаемых с носимых устройств (частота сердечных сокращений, зоны интенсивности, динамика восстановления). Оценивались тест Купера, время удержания планки, индекс Руфье и время восстановления ЧСС. ИИ-сопровождение обеспечило выраженное улучшение прироста показателей, а также сопровождалось повышением суточной двигательной активности. Обсуждаются ограничения, связанные с качеством данных и конфиденциальностью персональной информации.

Ключевые слова — искусственный интеллект; физическая подготовка; студенты; индивидуализация нагрузки; мониторинг; носимые датчики; частота сердечных сокращений; индекс Руфье; восстановление; цифровая педагогика.

НЕГІЗГІ ЕРЕЖЕЛЕР

Жасанды интеллект студенттердің дене дайындығын дербестендіруге, физикалық жүктемені функционалдық көрсеткіштерге сәйкес оңтайландыруға және оқу-жаттығу процесінің тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Киілетін құрылғылардан алынатын мәліметтер негізінде жүктемені түзету төзімділік пен қалпына келу көрсеткіштерін жақсартып, студенттердің қозғалыс белсенділігі мен өзін-өзі бақылауын арттырады. Жасанды интеллектті қолдану кезінде жеке деректердің құпиялылығы мен ақпараттық қауіпсіздік талаптарын сақтау міндетті.

КІРІСПЕ

Жоғары білім беруді цифрлық трансформациялау тек оқу-әдістемелік және әкімшілік үдерістерді ғана емес, студенттердің дене тәрбиесі жүйесін де қамтиды. Күнделікті қозғалыс белсенділігінің төмендеуі, статикалық қалыпта ұзақ отыру уақытының артуы және когнитивтік жүктеменің жоғары болуы дене шынықтыру сабақтарының тиімділігін арттыру және олардың қауіпсіздігін қамтамасыз ету міндетін өзекті етеді. Орташа нормативтерге және шектеулі кері байланысқа негізделген дәстүрлі бағдарламалар физикалық жүктемеге жеке реакциялардың айырмашылықтарын және қалпына келу қарқынын әрдайым ескере бермейді. Осы жағдайда жасанды интеллект жүктемені мөлшерлеу, функционалдық жағдайды бақылау және жекелендірілген кері байланыс қалыптастыру кезінде шешім қабылдауды қолдайтын құрал бола алады [1–3]. Зерттеудің мақсаты – ЖИ сүйемелдеуінің студенттердің дене дайындығы көрсеткіштерінің динамикасына әсерін эксперименттік тұрғыда бағалау. Гипотеза бойынша, киілетін құрылғылар деректеріне негізделген ЖИ қолдану дәстүрлі тәсілмен салыстырғанда төзімділік пен қалпына келу көрсеткіштерінің неғұрлым айқын оң динамикасын қамтамасыз етеді.

ӘДЕБИЕТ ШОЛУЫ

Ғылыми әдебиеттерде жасанды интеллектті дене тәрбиесі мен спорт саласына енгізу оқу-жаттығу процесін жетілдірудің маңызды бағыты ретінде қарастырылады. Зерттеушілер жасанды интеллект технологиялары физикалық жүктемені дербестендіруге, студенттердің функционалдық жағдайын бақылауға және жаттығу тиімділігін арттыруға мүмкіндік беретінін атап көрсетеді. Киілетін құрылғылардан алынатын деректерді пайдалану арқылы жүктемені жедел түзету төзімділік пен қалпына келу көрсеткіштерін жақсартуға ықпал етеді. Сонымен қатар, әдебиеттерде цифрлық технологияларды қолдану кезінде жеке деректердің құпиялылығын сақтау және оларды қауіпсіз өңдеу қажеттілігі ерекше көрсетілген.

МАТЕРИАЛДАР МЕН ӘДІСТЕР

Зерттеу дизайны: ұзақтығы 8 апта болатын параллельді бақыланатын пилоттық зерттеу. Қатысушылар: денсаулық жағдайына байланысты сабақтарға қатысуға рұқсат етілген 1–2 курс студенттері (18–20 жас), жалпы саны – 48 адам.

ЭПО-24к тобы студенттерінен бақылау тобы (БТ, n=24) және эксперименттік топ (ЭТ, n=24) құрылды. БТ-да сабақтар кафедраның қолданыстағы бағдарламасы бойынша өткізілді (аптасына 2 рет, 60 минут). ЭТ-да жасанды интеллект сүйемелдеуі қолданылды: киілетін құрылғылар арқылы деректер жиналды (жүрек соғу жиілігі, белсенділік ұзақтығы, қарқындылық аймақтары бойынша бөліну), сондай-ақ жүктемені бейімдеу алгоритмі жаттығудың интервалдық бөлігінің мақсатты қарқындылығы мен көлемін апта сайын түзетіп отырды. Бастапқы және қорытынды бағалау бірдей жағдайларда жүргізілді (тәуліктің бір уақыты, зал температурасы, стандартты қыздыру жаттығулары).

Бағаланған көрсеткіштер:

- Купер тесті (12 минут, қашықтық, м);

- планка (ұстап тұру уақыты, с);
- Руфье индексі (шартты бірлік);
- степ-тесттен кейін жүрек соғу жиілігінің
- Қосымша түрде орташа тәуліктік қозғалыс белсенділігі (қадам/тәулік) тіркелді.

Статистикалық талдау барысында орташа мән (М) және стандарттық ауытқу (SD) есептелді. Бастапқы көрсеткіштерді топаралық салыстыру үшін Уэлчтің t-критерийі қолданылды. Араласу әсері топтар арасындағы өсім айырмашылығын (Δ) салыстыру арқылы бағаланды; статистикалық маңыздылық деңгейі $p < 0,05$ деп қабылданды.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ

Негізгі көрсеткіштер бойынша топтардың бастапқы деңгейдегі салыстырмалылығы расталды ($p > 0,05$), бұл динамикадағы айырмашылықтарды араласу әсері ретінде түсіндіруге мүмкіндік береді (1-кесте).

1-кесте – Қатысушылардың бастапқы сипаттамалары (М $\pm$ SD)

Көрсеткіш	КГ (n=24)	ЭГ (n=24)	p
Жасы	19.11 $\pm$ 0.70	19.19 $\pm$ 0.56	0.676
Салмағы, кг	66.43 $\pm$ 8.08	68.49 $\pm$ 6.98	0.349
Купер тесті, м	2331.06 $\pm$ 178.59	2328.10 $\pm$ 169.00	0.953
Планка, с	87.13 $\pm$ 21.44	82.41 $\pm$ 17.14	0.404
Руфье индексі, шарт. бірл.	10.41 $\pm$ 1.57	9.79 $\pm$ 1.67	0.191
ЖСЖ қалпына келуі, с	89.08 $\pm$ 14.97	94.44 $\pm$ 19.22	0.287

2-кесте – дайындығы көрсеткіштерінің динамикасы (М $\pm$ SD)

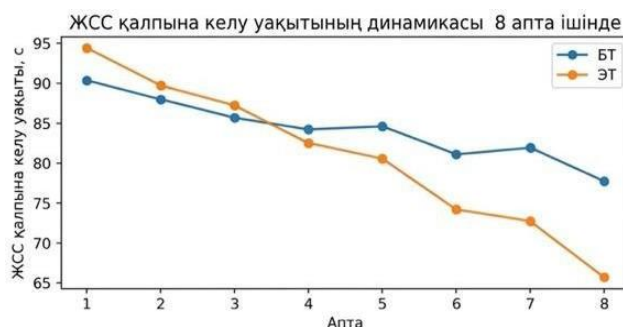
Көрсеткіш	КГ (n=24)	ЭГ (n=24)	p
Жасы	19.11 $\pm$ 0.70	19.19 $\pm$ 0.56	0.676
Салмағы, кг	66.43 $\pm$ 8.08	68.49 $\pm$ 6.98	0.349
Купер тесті, м	2331.06 $\pm$ 178.59	2328.10 $\pm$ 169.00	0.953
Планка, с	87.13 $\pm$ 21.44	82.41 $\pm$ 17.14	0.404

Руфье индексі, шарт. бірл.	10.41 $\pm$ 1.57	9.79 $\pm$ 1.67	0.191
ЖСЖ қалпына келуі, с	89.08 $\pm$ 14.97	94.44 $\pm$ 19.22	0.287

8 апталық цикл аяқталғаннан кейін екі топта да оң динамика байқалды, алайда ЭТ-дағы көрсеткіштердің өсімі барлық негізгі метрикалар бойынша статистикалық тұрғыдан едәуір жоғары болды ($p < 0,001$) (2-кесте).

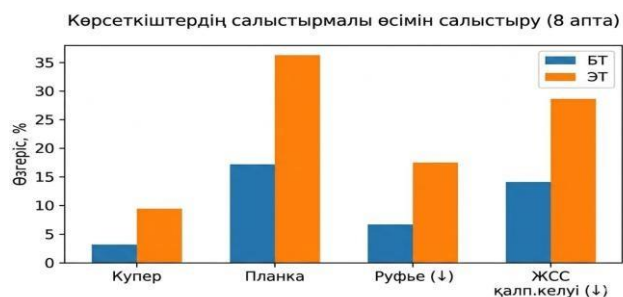
Қалпына келу үдерістерінің динамикасы әсіресе ЖСЖ қалпына келу уақыты бойынша айқын байқалды: ЭТ-да көрсеткіштің төмендеуі жылдамырақ әрі бірқалыпты жүрді, бұл физиологиялық критерийлер негізінде жүктемені жеке мөлшерлеу тұжырымдамасына сәйкес келеді (1-сурет).

Сурет 1 – БТ және ЭТ топтарындағы ЖСЖ



қалпына келу уақытының динамикасы (апталар бойынша орташа мәндер)

Салыстырмалы өзгерістерді талдау ЖИ сүйемелдеуінің жалпы төзімділік пен статикалық төзімділікті дамытуда, сондай-ақ Руфье индексі мен қалпына келу уақытын төмендетуде артықшылық беретінін көрсетті (2-сурет).



Сурет 2 – 8 аптадағы көрсеткіштердің салыстырмалы өсімі (артуы – жақсы; төмен

бағытталған көрсеткіштерде азаюы жақсаруды білдіреді)

Қосымша әсер ретінде араласу нәтижесінде күнделікті қозғалыс белсенділігінің артуы байқалды: ЭТ-да орташа қадам санының өсуі жылдамырақ жүрді, бұл цифрлық кері байланыс болған жағдайда өзін-өзі бақылау мен мотивацияның күшеюін көрсетуі мүмкін (3-сурет).



Сурет 3 – Орташа тәуліктік қозғалыс белсенділігінің динамикасы (қадам/тәулік)

Алынған нәтижелер зерттеу гипотезасын растайды: ЖИ сүйемелдеуі объективті деректер негізінде жаттығу қарқындылығы мен көлемін жүйелі түрде түзету арқылы жүктемеге тиімді бейімделуді қамтамасыз етеді. Практикалық тұрғыдан ең маңызды нәтиже – қалпына келу көрсеткіштерінің жақсаруы, себебі жүктеменің қалпына келу мүмкіндіктеріне сәйкес келмеуі шамадан тыс жүктеменің және сабақтарға тұрақты қатысудың төмендеуінің негізгі факторларының бірі болып табылады.

Сонымен қатар нәтижелерді интерпретациялау кезінде пилоттық зерттеу дизайнының шектеулерін ескеру қажет: іріктеменің салыстырмалы түрде аз болуы, зерттеу ұзақтығының қысқалығы және терең зертханалық диагностикасыз интегралдық көрсеткіштерді қолдану. Әдісті кең ауқымда енгізу

кезінде жеке деректерді (ЖСЖ және белсенділік көрсеткіштері) өңдеуді реттеу, студенттердің ақпараттандырылған келісімін алу және алгоритм ұсынымдарын түсіндіре алатын оқытушының әдістемелік даярлығы қажет [4–6].

ҚОРЫТЫНДЫ

Студенттердің дене дайындығында ЖИ сүйемелдеуін 8 апта бойы қолдану дәстүрлі бағдарламаға қарағанда төзімділік (Купер тесті) және статикалық төзімділік (планка) көрсеткіштерінің статистикалық тұрғыдан мәнді жоғарылауын қамтамасыз етті.

ЭТ-да қалпына келу көрсеткіштерінің айқын жақсаруы байқалды: Руфье индексі орта есеппен 1,8 шартты бірлікке, ал ЖСЖ қалпына келу уақыты 27,6 секундқа төмендеді; топтар арасындағы айырмашылықтар статистикалық тұрғыдан мәнді ($p < 0,001$).

Цифрлық кері байланыстың болуы күнделікті қозғалыс белсенділігінің (қадам/тәулік) артуымен байланысты болды, бұл өзін-өзі бақылау мен мотивацияның күшеюінің жанама көрсеткіші ретінде қарастырылуы мүмкін.

ЖИ-ді жоғары оқу орнының тәжірибесіне енгізу жүктемені мөлшерлеудің әдістемелік стандарттарын және жеке деректерді қорғау мен этикалық өңдеу қағидаларын сақтауды талап етеді.

«Авторлар мүдделер қақтығысының жоқ екенін мәлімдейді».

Авторлық құқық © 2026 автор(лар)ға тиесілі. Бұл мақала [Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International](#) (CC BY-SA 4.0) лицензиясы бойынша ашық қолжетімді болып табылады. Лицензия түпнұсқа еңбекке тиісті түрде сілтеме жасалған жағдайда, кез келген ортада пайдалануға, таратуға және қайта жариялауға рұқсат береді. Туынды материалдар осы лицензияның дәл осындай шарттарымен таратылуы тиіс.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- [1] В. Н. Селуянов, Спорттық жаттығулардың теориясы мен әдістемесі. Мәскеу, Ресей: Спорт, 2019, 320 б.
- [2] В. Н. Платонов, Олимпиадалық спорттағы спортшыларды даярлау жүйесі. Киев, Украина: Олимпиадалық әдебиет, 2020, 808 б.
- [3] В. П. Губа және В. И. Стулаев, Спорттық қозғалыстардың биомеханикасы: оқу құралы. Мәскеу, Ресей: Академия, 2021, 256 б.
- [4] В. Н. Кузнецов, Дене тәрбиесіндегі цифрлық технологиялар. Санкт-Петербург, Ресей: Питер, 2022, 240 б.
- [5] А. А. Бондаренко және Н. В. Орлова, «Жаттығу жүктемесін мониторингтеудегі деректерді талдау және киілетін құрылғылар», Дене шынықтыру теориясы мен практикасы, № 7, 45–49 б., 2021.
- [6] А. А. Иванов және С. С. Петров, «Машиналық оқыту алгоритмдері арқылы жаттығуларды жекелендіру», Спорт ғылымының хабаршысы, № 2, 12–18 б., 2023.

- [7] Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымы, Дене белсенділігі мен отырықшы өмір салты жөніндегі ДДСҰ нұсқаулығы. Женева, Швейцария: Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымы, 2020.
- [8] Америкалық спорттық медицина колледжі, ACSM жаттығуларды тестілеу және тағайындау жөніндегі нұсқаулығы, 11-басылым. Филадельфия, АҚШ: Wolters Kluwer, 2021.
- [9] Д. А. Толстов, «Білім алушылардың биометриялық деректерін өңдеудің этикалық аспектілері», Білім беру психологиясы және педагогикасы, № 4, 91–97 б., 2022.
- [10] L. Brown және J. Smith, «Жекелендірілген жаттығуларға арналған жасанды интеллект: шолу», Journal of Sports Analytics, 2021.
- [11] H. Li және Y. Chen, «Жастардың жаттығу процесіндегі киілетін сенсорлар мен жүрек соғу жиілігінің қалпына келу көрсеткіштері», Sensors, 2022.
- [12] M. Garcia, «Жоғары оқу орындарындағы дене тәрбиесіндегі цифрлық коучинг: эксперименттік зерттеу нәтижелері», Computers in Human Behavior Reports, 2023.

REFERENCES

- [1] V. N. Seluyanov, *Teoriya i metodika sportivnoy trenirovki*. Moscow, Russia: Sport, 2019, 320 p.
- [2] V. N. Platonov, *Sistema podgotovki sportsmenov v olimpiyskom sporte*. Kyiv, Ukraine: Olimpiyskaya literatura, 2020, 808 p.
- [3] V. P. Guba and V. I. Stulaev, *Biomekhanika sportivnykh dvizheniy: uchebnoe posobie*. Moscow, Russia: Akademiya, 2021, 256 p.
- [4] V. N. Kuznetsov, *Dene tarbiesindegi tsifrlıq tekhnologiyalar*. St. Petersburg, Russia: Piter, 2022, 240 p.
- [5] A. A. Bondarenko and N. V. Orlova, “Trenirovkalyq zhuktemeni monitoringileudegi derekter taldauy zhane kiiletin qurylgylar,” *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury*, no. 7, pp. 45–49, 2021.
- [6] A. A. Ivanov and S. S. Petrov, “Mashinalyq oqytu algoritmderi arqyly zhattygulary zhekeleniru,” *Vestnik sportivnoy nauki*, no. 2, pp. 12–18, 2023.
- [7] World Health Organization, *WHO Guidelines on Physical Activity and Sedentary Behaviour*. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2020.
- [8] American College of Sports Medicine, *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription*, 11th ed. Philadelphia, PA, USA: Wolters Kluwer, 2021.
- [9] D. A. Tolstov, “Eticheskie aspekty obrabotki biometricheskikh dannyykh obuchayushchikhsya,” *Psikhologiya i pedagogika obrazovaniya*, no. 4, pp. 91–97, 2022.
- [10] L. Brown and J. Smith, “Artificial intelligence for personalized training: a review,” *Journal of Sports Analytics*, 2021.
- [11] H. Li and Y. Chen, “Wearable sensors and heart-rate recovery metrics in youth training,” *Sensors*, 2022.
- [12] M. Garcia, “Digital coaching in university physical education: experimental outcomes,” *Computers in Human Behavior Reports*, 2023.

Экономика. Общеобразовательные, социально-гуманитарные и фундаментальные дисциплины.

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/147>

USE OF DIGITAL TECHNOLOGIES TO INCREASE MEASUREMENT ACCURACY IN TESTING LABORATORIES

¹Tatieva M.M.,¹Turabayeva M.B.,^{1*}Kalabayeva Zh.M.

¹Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan

* Correspondent's E-mail: zhanatforever@gmail.com

Author information:

Tatieva M.M., Scientific Supervisor, Candidate of Economic Sciences (PhD in Economics), Associate Professor of the Department of Economics and Business, Karaganda State Industrial University, Kazakhstan, Temirtau City, postal code 101400, Republic Avenue, 30,

Turabayeva M.B., Candidate of Economic Sciences (PhD in Economics), Associate Professor, Karaganda State Industrial University, Kazakhstan, Temirtau City, postal code 101400, Republic Avenue, 30,

Kalabayeva Zh.M., Karaganda Industrial University, Kazakhstan, Temirtau City, postal code 101400, Republic Avenue, 30, e-mail: zhanatforever@gmail.com

Abstract – The article discusses the integration of digital technologies in testing laboratories to enhance measurement accuracy and reliability. Key areas of digitalization are analyzed, including smart sensors, automated data collection systems, and laboratory information management systems (LIMS). Special attention is given to the use of digital chromatographic systems as a means of high-precision analytical control. The role of digital algorithms in signal processing and ensuring metrological traceability in accordance with ISO/IEC 17025 is highlighted. The authors conclude that a comprehensive digital approach minimizes human error and ensures compliance with modern quality management standards.

Keywords – Digital technologies, measurement accuracy, testing laboratories, smart sensors, automation of measurements, digital data processing, gas chromatography, liquid chromatography, metrological traceability, measurement uncertainty, ISO/IEC 17025.

СЫНАҚ ЗЕРТХАНАЛАРЫНДА ӨЛШЕУ ДӘЛДІГІН АРТТЫРУ ҮШІН ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ҚОЛДАНУ

¹Татиуева М.М.,¹Турабаева М.Б.,^{1*}Калабаева Ж.М.

¹Қарағанды индустриялық университеті, Қазақстан, Теміртау қаласы

*Корреспондент E-mail: zhanatforever@gmail.com

Авторлар туралы ақпарат:

Татиуева М.М., ғылыми жетекші, экономика ғылымдарының кандидаты, Қарағанды мемлекеттік индустриялық университетінің «Экономика және бизнес» кафедрасының доценті, Қазақстан, Теміртау қаласы, Республика даңғылы, 30, пошта индексі 101400,

Турабаева М.Б., э.ғ.к., доцент Турабаева М. Б., Қазақстан, Теміртау қаласы, Республика даңғылы, 30, пошта индексі 101400,

Калабаева Ж.М. - Қарағанды индустриялық университеті, Қазақстан, Теміртау қаласы, Республика даңғылы, 30, пошта индексі 101400, e-mail: zhanatforever@gmail.com

Аннотация – мақалада өлшеу дәлдігі мен сенімділігін арттыру мақсатында сынақ зертханаларында цифрлық технологияларды енгізу мәселесі қарастырылады. Цифрландырудың негізгі бағыттары талданады, соның ішінде интеллектуалды датчиктер, деректерді автоматты түрде жинау жүйелері және зертханалық ақпараттық менеджмент жүйелері (LIMS). Цифрлық хроматографиялық жүйелер жоғары дәлдіктегі аналитикалық бақылау құралы ретінде ерекше назарға алынады. ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 талаптарына сәйкес сигналдарды өңдеудегі цифрлық алгоритмдердің және метрологиялық қадағалануын қамтамасыз етудегі рөлі көрсетіледі. Авторлар кешенді

цифрлық тәсіл адам факторының әсерін азайтып, сапа менеджментінің заманауи стандарттарына сәйкестікті қамтамасыз етеді деген қорытындыға келеді.

Түйін сөздер – цифрлық технологиялар, өлшеу дәлдігі, сынақ зертханалары, интеллектуалды датчиктер, өлшеулерді автоматтандыру, цифрлық деректерді өңдеу, газ хроматографиясы, сұйық хроматография, метрологиялық қадағалану, өлшеу белгісіздігі, ГОСТ ISO/IEC 17025-2019.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ В ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ

¹Татиева М.М., ¹Турабаева М. Б., ^{1*}Калабаева Ж.М.

¹Карагандинский индустриальный университет, г. Темиртау, Казахстан

* E-mail корреспондента: zhanatforever@gmail.com

Информация об авторах:

Татиева М.М., научный руководитель, кандидат экономических наук (PhD в области экономики), доцент кафедры «Экономика и бизнес» Карагандинского государственного индустриального университета, Казахстан, г. Темиртау, почтовый индекс 101400, проспект Республики, 30.

Турабаева М.Б., кандидат экономических наук (PhD в области экономики), доцент Карагандинского государственного индустриального университета, Казахстан, г. Темиртау, почтовый индекс 101400, проспект Республики, 30.

Калабаева Ж.М., Карагандинский индустриальный университет, Казахстан, г. Темиртау, почтовый индекс 101400, проспект Республики, 30. e-mail: zhanatforever@gmail.com

Аннотация – в статье рассматривается интеграция цифровых технологий в испытательных лабораториях для повышения точности и надежности измерений. Анализируются ключевые направления цифровизации, включая интеллектуальные датчики, автоматизированные системы сбора данных и лабораторные информационные системы (LIMS). Особое внимание уделяется использованию цифровых хроматографических систем как средства высокоточного аналитического контроля. Подчеркивается роль цифровых алгоритмов в обработке сигналов и обеспечении метрологической прослеживаемости в соответствии с требованиями ГОСТ ISO/IEC 17025-2019. Авторы приходят к выводу, что комплексный цифровой подход минимизирует влияние человеческого фактора и обеспечивает соответствие современным стандартам управления качеством.

Ключевые слова – цифровые технологии, точность измерений, испытательные лаборатории, интеллектуальные датчики, автоматизация измерений, цифровая обработка данных, газовая хроматография, жидкостная хроматография, метрологическая прослеживаемость, неопределенность измерений, ГОСТ ISO/IEC 17025-2019.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В ходе исследования определены основные направления применения цифровых технологий в испытательных лабораториях, включающие использование интеллектуальных датчиков, лабораторных информационных систем (LIMS) и автоматизированных средств сбора и обработки данных. Предложен комплексный подход к повышению точности измерений, основанный на интеграции цифровых измерительных приборов, программных алгоритмов обработки сигналов и цифровых хроматографических систем. Установлено, что автоматизация процессов измерений и формирования отчетной документации позволяет существенно снизить влияние человеческого фактора, повысить воспроизводимость результатов и обеспечить метрологическую прослеживаемость. Показано, что комплексная цифровизация лабораторных

процессов обеспечивает соответствие требованиям ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 и современным стандартам управления качеством.

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение высокой точности измерений является фундаментальным условием достоверности результатов испытаний в лабораториях различного профиля – метрологических, сертификационных, промышленных и научно-исследовательских.

В современных условиях, характеризующихся ужесточением требований нормативных документов, включая ГОСТ ISO/IEC 17025-2019, а также законодательство в области обеспечения единства измерений, возрастает необходимость внедрения инновационных подходов к организации измерительных процессов. Одним из ключевых направлений является интеграция цифровых

технологий, обеспечивающих повышение точности, воспроизводимости и метрологической надежности результатов.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Цифровые технологии представляют собой совокупность аппаратных и программных средств, обеспечивающих автоматизацию процессов измерения, сбора, обработки и хранения данных. К ним относятся:

- цифровые датчики;
- интеллектуальные измерительные системы;
- программные комплексы обработки сигналов;
- лабораторные информационные системы (LIMS).

Их внедрение позволяет существенно снизить влияние субъективных факторов («человеческого фактора») и повысить степень стандартизации процедур. По сравнению с аналоговыми средствами, цифровые системы обладают более высоким разрешением, устойчивостью к внешним воздействиям и стабильностью метрологических характеристик.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Современные цифровые датчики оснащаются микропроцессорными модулями, реализующими функции первичной обработки сигнала, самодиагностики и компенсации внешних факторов (температуры, давления, влажности). Использование таких устройств снижает уровень случайных и систематических погрешностей, обеспечивая автоматическую коррекцию параметров в процессе эксплуатации. Это особенно актуально при длительном мониторинге технологических процессов в режиме реального времени.

Среди современных средств аналитического контроля особое место занимают газовые и жидкостные хроматографы. Современные комплексы включают в себя:

- цифровые детекторы (пламенно-ионизационные, теплопроводностные и др.);
- автоматические пробоотборные устройства;
- встроенное специализированное программное обеспечение.

Цифровизация в хроматографии позволяет оптимизировать алгоритмы обработки сигналов, минимизировать операторские ошибки и автоматически идентифицировать компоненты. Дополнительные функции коррекции базовой линии, подавления шумов и расчета

неопределенности измерений способствуют высокой воспроизводимости результатов и их соответствию требованиям метрологической прослеживаемости.

Использование стандартных цифровых интерфейсов (USB, Ethernet, RS-485, беспроводные протоколы) позволяет интегрировать приборы в единую информационную инфраструктуру лаборатории. Программные комплексы выполняют:

- фильтрацию сигналов и статистическую обработку результатов;
- оценку неопределенности измерений.

Автоматизация данных процессов сводит к минимуму вероятность ошибок, связанных с ручным вводом и обработкой данных.

Важнейшую роль играют методы цифровой обработки сигналов: сглаживание, деконволюция перекрывающихся пиков и численное интегрирование для точного определения их площадей.

Внедрение систем LIMS обеспечивает централизованное управление данными, контроль целостности информации и полную прослеживаемость результатов.

Цифровизация процессов калибровки и поверки осуществляется строго в соответствии с законодательством в области метрологии. Автоматизированные процедуры позволяют:

- повысить точность градуировочных характеристик;
- анализировать исторические данные о состоянии оборудования;
- обеспечить прозрачность всех этапов измерительного процесса.

Перспективным направлением является внедрение искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения для автоматического распознавания пиков, выявления аномалий и прогнозирования погрешностей. Развитие технологий промышленного интернета вещей (IIoT) создает базу для формирования распределенных систем с возможностью удаленного мониторинга и управления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, комплексная интеграция интеллектуальных измерительных приборов, систем автоматизации и специализированного ПО является ключевым фактором повышения точности и надежности измерений.

Это позволяет минимизировать погрешности, обеспечить воспроизводимость результатов и

гарантировать их соответствие современным международным требованиям в области метрологии и менеджмента качества.

«Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов».

Авторское право © 2026 принадлежит автору(ам).

Данная статья распространяется на условиях открытого доступа в соответствии с лицензией [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) (CC BY-SA 4.0). Лицензия разрешает свободное использование, распространение и воспроизведение в любой форме при условии обязательного указания авторства и сохранения той же лицензии для производных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] ГОСТ ISO/IEC 17025-2019. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.
- [2] Закон Республики Казахстан «Об обеспечении единства измерений» № 53-V ЗРК.
- [3] ГСИ РК. Государственная система обеспечения единства измерений Республики Казахстан. Основные положения.
- [4] СТ РК 2.4-2017. Государственная система обеспечения единства измерений. Поверка средств измерений.
- [5] Нуртазин Е.М. Автоматизация измерений и обработка экспериментальных данных. – Алматы: Эверо, 2019.
- [6] Скуг Д.А., Холлер Ф.Дж., Крауч С.Р. Принципы инструментального анализа. – М.: БИНОМ, 2015.
- [7] Сидоров В.И., Иванов А.П. Газовая хроматография: теория и практика. – М.: Химия, 2017.
- [8] Мельников П.А. Жидкостная хроматография в аналитической химии. – СПб.: Профессия, 2018.
- [9] ГОСТ 8.586.1–2005. Методики выполнения измерений с применением хроматографов.
- [10] Lyons R.G. Understanding Digital Signal Processing. 3rd ed. – Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, 2011. – 992 p.

REFERENCES

- [1] GOST ISO/IEC 17025-2019. Obshchie trebovaniya k kompetentnosti ispyatel'nykh i kalibrovchnykh laboratorii.
- [2] Zakon Respubliki Kazakhstan «Ob obespechenii edinstva izmerenii» No. 53-V ZRK.
- [3] GSI RK. Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmerenii Respubliki Kazakhstan. Osnovnye polozheniya.
- [4] ST RK 2.4-2017. Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmerenii. Poverka sredstv izmerenii.
- [5] Nurtazin E.M. Avtomatizatsiya izmerenii i obrabotka eksperimental'nykh dannykh. – Almaty: Evero, 2019.
- [6] Skoog D.A., Holler F.J., Crouch S.R. Printsipy instrumental'nogo analiza. – Moscow: BINOM, 2015.
- [7] Sidorov V.I., Ivanov A.P. Gazovaya khromatografiya: teoriya i praktika. – Moscow: Khimiya, 2017.
- [8] Mel'nikov P.A. Zhidkostnaya khromatografiya v analiticheskoi khimii. – Saint Petersburg: Professiya, 2018.
- [9] GOST 8.586.1–2005. Metodiki vypolneniya izmerenii s primeneniem khromatografov.
- [10] Lyons R.G. Understanding Digital Signal Processing. 3rd ed. – Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, 2011. – 992 p.

Экономика. Общеобразовательные, социально-гуманитарные и фундаментальные дисциплины.

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/146>

METHODOLOGICAL ASPECTS OF ADAPTIVE PHYSICAL EDUCATION IN A TECHNICAL UNIVERSITY: A SYSTEMS APPROACH AND ENGAGEMENT TECHNOLOGIES

^{1*}Koryukina T.P., ²Koryukina S.V.

¹Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan

²Special Boarding school No. 8, Karaganda, Kazakhstan

* Correspondent's E-mail: taisiyakoryukina19@gmail.com

Author information:

Koryukina Taisiya Pavlovna, Karaganda Industrial University, 101400, Republic Avenue, 30, Temirtau, Karaganda region, Kazakhstan, e-mail: taisiyakoryukina19@gmail.com

Koryukina Svetlana Valeryevna, Special Boarding school No. 8, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: cvtemirtau@gmail.com

Abstract — The article addresses the pressing issue of organizing physical education for students with special educational needs (SEN) within an industrial university setting. The author examines the methodological inadequacy of the widespread practice of medical exemptions and proposes a complex of adaptive techniques. The study describes methods aligned with modern inclusive standards, including isometric exercises, breathing techniques, and adapted national games ("Togyzkumalak", "Asyk Atu"). These methods facilitate not only physical rehabilitation but also successful academic adaptation and the development of essential Soft Skills for future technical specialists.

Keywords — adaptive physical education (APE), inclusive education, students with SEN, psychophysical rehabilitation, Universal Design for Learning (UDL), Soft Skills, national games.

ТЕХНИКАЛЫҚ ЖОҒАРЫ ОҚУ ОРНЫНДАҒЫ БЕЙІМДЕЛГЕН ДЕНЕ ШЫНЫҚТЫРУДЫҢ ӘДІСТЕМЕЛІК АСПЕКТІЛЕРІ: ЖҮЙЕЛІ ТӘСІЛ ЖӘНЕ ТАРТУ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ

^{1*}Корюкина Т.П., ²Корюкина С.В.

¹Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан

²№ 8 арнайы мектеп-интернаты, Қарағанды, Қазақстан

*Корреспондент Е-mail: taisiyakoryukina19@gmail.com

Авторы туралы ақпарат:

Корюкина Таисия Павловна, Қарағанды индустриялық университеті, 101400, Республика даңғылы, 30, Теміртау, Қарағанды облысы, Қазақстан, e-mail: taisiyakoryukina19@gmail.com

Корюкина Светлана Валерьевна, № 8 арнайы мектеп-интернаты, Қарағанды, Қазақстан, e-mail: cvtemirtau@gmail.com

Абстракт — Мақала индустриялық университет жағдайында ерекше білім беру қажеттіліктері (ЕБҚ) бар студенттер үшін дене шынықтыру сабақтарын ұйымдастырудың өзекті мәселесіне арналған. Автор жаппай медициналық босату жүйесінің әдістемелік дәрменсіздігін қарастырып, бейімдеу техникаларының кешенін ұсынады. Жұмыста заманауи инклюзивті стандарттарға сай келетін әдістемелер, соның ішінде изометриялық жаттығулар, тыныс алу гимнастикасы және бейімделген ұлттық ойындар сипатталған. Бұл әдістер тек физикалық оңалтуға ғана емес, сонымен қатар болашақ техникалық сала мамандарының оқу ортасына табысты бейімделуіне және маңызды жұмсақ дағдыларын (soft skills) дамытуға септігін тигізеді.

Кілт сөздер — бейімделген дене шынықтыру (БДШ), инклюзивті білім беру, ЕБҚ бар студенттер, психофизикалық оңалту, Soft Skills, ұлттық ойындар.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АДАПТИВНОГО ФИЗИЧЕСКОГО ВОСПИТАНИЯ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ: СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД И ТЕХНОЛОГИИ ВОВЛЕЧЕНИЯ

^{1*}Корюкина Т.П., ²Корюкина С.В.

¹Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

²Специальная школа-интернат №8, Караганда, Казахстан

* E-mail корреспондента: taisiyakoryukina19@gmail.com

Информация об авторах:

Корюкина Таисия Павловна, Карагандинский индустриальный университет, 101400, проспект Республики, 30, Темиртау, Карагандинская область, Казахстан, e-mail: taisiyakoryukina19@gmail.com

Корюкина Светлана Валерьевна, Специальная школа-интернат №8, Караганда, Казахстан, e-mail: cvtemirtau@gmail.com

Аннотация — Статья посвящена актуальному вопросу организации занятий физической культурой для студентов с особыми образовательными потребностями (ООП) в условиях индустриального университета. Автор рассматривает методологическую несостоятельность системы массовых медицинских освобождений и предлагает комплекс адаптивных техник. В работе описаны методики, соответствующие современным инклюзивным стандартам, включая изометрические упражнения, дыхательную гимнастику и адаптированные национальные игры, способствующие не только физической реабилитации, но и успешной академической адаптации будущих специалистов технического профиля.

Ключевые слова — адаптивная физическая культура (АФК), инклюзивное образование, студенты с ООП, психофизическая реабилитация, Universal Design for Learning (UDL), Soft Skills.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В ходе исследования разработан вариативный комплекс адаптивной физической культуры для студентов с особыми образовательными потребностями индустриального университета, включающий изометрическую саморегуляцию, дыхательный тренинг и адаптированные национальные игры. Предложен дифференцированный подход к организации занятий, основанный на учете нозологических особенностей обучающихся и направленный на повышение безопасности и эффективности физической активности. Показано, что включение этнопедагогических средств и дыхательных практик способствует развитию сенсомоторной координации, снижению психоэмоционального напряжения и формированию коммуникативных и когнитивных компетенций студентов. Полученные результаты могут быть использованы при разработке инклюзивных программ физического воспитания в технических вузах и совершенствовании системы сопровождения студентов с особыми образовательными потребностями.

ВВЕДЕНИЕ

Специфика обучения в индустриальном университете сопряжена с колоссальной когнитивной нагрузкой и многочасовой статической работой. Для студентов с

соматическими заболеваниями (сердечно-сосудистые патологии, нарушения обмена веществ, функциональные расстройства) отсутствие дозированного движения становится фактором, форсирующим развитие вторичных осложнений.

Процесс технологического обновления экономики Казахстана предъявляет повышенные требования к здоровью и стрессоустойчивости инженерных кадров. Однако в образовательном пространстве технических вузов наблюдается тенденция, когда значительная часть студенческой молодежи фактически исключена из системы активного физического воспитания [8]. Согласно статистическим данным, до 75% обучающихся, имеющих те или иные нарушения здоровья, ежегодно получают полные медицинские освобождения от практических занятий [4].

С нашей точки зрения, подобный вектор развития представляется методически неоправданным, так как он неизбежно провоцирует социальную изоляцию студентов и усугубляет гиподинамию. В контексте современных инклюзивных стандартов физическая культура должна трансформироваться из дисциплины «нормативов» в инструмент коррекционно-развивающей поддержки для всех категорий студентов с ООП.

Традиционная дихотомия «здоров — освобожден» в современных условиях признается

несостоятельной. Методологический фундамент адаптивной физической культуры (АФК) в вузе строится на принципе «функционального замещения»: педагогический процесс направлен не на лечение патологии, а на развитие сохраненных систем организма.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Современные исследования в области адаптивной физической культуры ориентированы на переход от практики полного освобождения студентов с ограничениями по состоянию здоровья к их активному включению в образовательный процесс. В зарубежной практике широкое распространение получила концепция Universal Design for Learning (UDL), предусматривающая создание гибкой образовательной среды с учетом индивидуальных возможностей обучающихся [3].

В научной литературе доказана эффективность изометрических упражнений для лиц с сердечно-сосудистыми заболеваниями, поскольку они позволяют безопасно развивать мышечную силу и улучшать функциональное состояние организма без значительного увеличения нагрузки на сердечно-сосудистую систему [2]. Наряду с этим исследования подтверждают положительное влияние диафрагмального дыхания на снижение уровня стресса, повышение концентрации внимания и улучшение когнитивных функций студентов [1].

Отдельное направление исследований посвящено использованию национальных игр в системе адаптивной физической культуры. Установлено, что их применение способствует развитию сенсомоторной координации, коммуникативных навыков и социальной адаптации студентов с особыми образовательными потребностями [7]. Вместе с тем анализ литературы показывает недостаточную разработанность комплексных программ, объединяющих адаптивные физические упражнения, дыхательные практики и этнопедагогические средства для студентов технических вузов, что определяет актуальность настоящего исследования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Технологии адаптации и развитие профессиональных компетенций:

1. Изометрическая саморегуляция. Для обучающихся, которым противопоказаны прыжки, бег и резкие осевые нагрузки, изометрия является оптимальным решением. Мышца напрягается максимально, но движения в суставе нет (давление

на опору в течение 5–10 секунд). На основании мета-анализов [2] доказано, что такие циклы способствуют стабилизации артериального давления и укреплению мышечного корсета без критического изменения ритма сердечных сокращений.

2. Дыхательный тренинг и оксигенация. Учитывая экологический фон промышленного региона, мы предлагаем внедрять мягкие техники оксигенации. Контролируемое диафрагмальное («брюшное») дыхание позволяет снизить уровень фоновой тревожности и улучшить питание коры головного мозга кислородом, что напрямую коррелирует с качеством работы нейронных связей и когнитивной гибкостью студента [1].

3. Национальные игры как адаптивный этнопедагогический ресурс. Нельзя обойти вниманием национальные игры в системе АФК. Практика показывает, что для студентов с ООП важно найти формы активности, которые бы не «выключали» их из социума, а, напротив, давали возможность проявить интеллектуальное и волевое превосходство [7].

В этом плане интеграция таких игр, как «Тоғызқұмалақ» и адаптированных версий «Асық ату», в программу адаптивного физического воспитания университета позволяет решить сразу несколько педагогических задач: развить когнитивную сферу, обеспечить сенсомоторную коррекцию и укрепить коммуникативные компетенции.

Рассматривая математическую строгость «Тоғызқұмалақ» как переход к инженерному мышлению, мы обнаруживаем, что студент не просто передвигает камни; он выстраивает многоуровневые алгоритмы и просчитывает риски, что по своей сути идентично процессам проектирования и программирования. Здесь физическое ограничение здоровья полностью нивелируется интеллектуальным азартом.

Содержащиеся в игре «мягкие» техники позволяют проводить сенсомоторную коррекцию с акцентом на сенсомоторной точности. В настольных форматах «Асық ату» от студента требуется филигранный расчет силы удара и глазомер. Для будущего специалиста, которому предстоит работать с точным оборудованием или сложными графическими интерфейсами, такие упражнения становятся формой профессиональной пропедевтики.

По нашим наблюдениям, студенты, имеющие статус «освобожденных», подвержены риску социальной депривации, при этом командные

форматы национальных игр позволяют этим ребятам включиться в систему «горизонтальных» связей. Здесь отрабатываются те самые Soft Skills, как умение вести диалог, держать эмоциональный удар при проигрыше и конструктивно взаимодействовать в группе, что является обязательным требованием для успешной адаптации на производстве.

Таким образом, этнопедагогический компонент в Карагандинском Индустриальном Университете выступает своеобразным инструментом инклюзивной интеграции, позволяющим студенту с особыми потребностями чувствовать себя полноценным участником академического сообщества.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Практическая значимость нашего исследования заключается в систематизации упражнений по нозологическим группам, что обусловлено отсутствием универсального комплекса АФК и прямой зависимостью эффективности реабилитации от точного соответствия методики функциональному дефициту студента.

Для наиболее многочисленной группы студентов, а именно с патологиями сердечно-сосудистой системы, традиционные циклические нагрузки (бег, прыжки) сопряжены с риском тахикардии и резких скачков давления. В качестве альтернативы мы предлагаем внедрение изометрической саморегуляции. Суть метода заключается в кратковременном (от 5 до 10 секунд) статическом напряжении крупных мышечных групп без изменения их длины. Опираясь на данные мета-анализа [2], мы полагаем, что такие микроциклы тренируют сосудистый тонус и способствуют снижению артериального давления в покое, что делает физкультуру безопасной и терапевтически оправданной.

При работе со студентами, имеющими нарушения опорно-двигательного аппарата, основной акцент переносится с интенсивности на точность и координацию. Здесь неопределимую роль играют адаптированные настольные национальные игры. Вместо выполнения стандартных упражнений, которые могут быть физически недоступны или болезненны, студент вовлекается в процесс, требующий высокого уровня пространственного мышления и сенсомоторного контроля, что позволяет поддерживать

нейромышечные связи и предотвращать вторичную атрофию, не выходя за рамки физических ограничений студента.

Отдельную категорию составляют обучающиеся с высоким уровнем когнитивного стресса и тревожными расстройствами, что крайне характерно для периода сессий в техническом вузе. Для них приоритетной технологией становится респираторный тренинг и методики оксигенации. Использование техник диафрагмального дыхания, подтвержденных исследованиями [1], позволяет эффективно управлять вариабельностью сердечного ритма. В результате снижается уровень кортизола («гормона стресса»), повышается концентрация внимания и общая умственная работоспособность, что критически важно для усвоения сложного технического материала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрение предложенных алгоритмов требует качественного мониторинга вместо «зачета по нормативам». Преподаватель фиксирует динамику самочувствия, стабильность пульсовых зон и уровень психоэмоционального комфорта. Такой подход полностью соответствует духу инклюзивного образования РК и позволяет кафедрам физического воспитания стать центрами реальной поддержки здоровья молодежи.

Подводя итог вышесказанному, отметим, что отказ от стратегии «освобождения» в пользу адаптивных программ оказывается единственным путем к воспитанию полноценного специалиста. Предложенные техники являются доступными и эффективными инструментами, позволяющими каждому студенту с ООП найти свою траекторию движения к здоровью и профессиональному долголетию.

«Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов».

Авторское право © 2026 принадлежит автору(ам).

Данная статья распространяется на условиях открытого доступа в соответствии с лицензией [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) (CC BY-SA 4.0). Лицензия разрешает свободное использование, распространение и воспроизведение в любой форме при условии обязательного указания авторства и сохранения той же лицензии для производных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] R. P. Brown and P. L. Gerbarg, «Sudarshan Kriya yogic breathing in the treatment of stress, anxiety, and depression», *Journal of Alternative & Complementary Medicine*, vol. 11, no. 1, pp. 189–201, 2005.
- [2] V. A. Cornelissen and N. A. Smart, «Exercise training for blood pressure management in adults with hypertension: a meta-analysis», *Journal of the American Heart Association*, vol. 2, no. 1, 2013.
- [3] D. H. Rose and A. Meyer, «Universal Design for Learning in Postsecondary Education: Reflections on Principles and their Application», *Journal of Postsecondary Education and Disability*, vol. 19, no. 2, pp. 135–151, 2006.
- [4] С. П. Евсеев, Теория и организация адаптивной физической культуры. М., Россия: Спорт, 2016, 616 с.
- [5] З. А. Мовкебаева, Инклюзивное образование в Республике Казахстан: проблемы и перспективы. Алматы, Казахстан: КазНПУ им. Абая, 2019, 190 с.
- [6] Национальный доклад о состоянии развития системы образования РК. Астана, Казахстан, 2025.
- [7] Е. Н. Сағындықов, Қазақтың ұлттық ойындары. Алматы, Казахстан: Рауан, 1991, 176 б.
- [8] Р. Сергазинов и А. Трус, «К вопросу оптимизации физкультурно-спортивной деятельности студентов высших заведений», *Вестник КариУ*, № 2 (41), с. 98–102, 2023.
- [9] А. В. Русанов и Е. А. Милашечкина, «Применение дыхательных практик для коррекции отклонений в состоянии здоровья обучающихся (аналитический обзор)», *Человек. Спорт. Медицина*, т. 22, № 4, с. 168–176, 2022.
- [10] Д. В. Викторов, В. В. Кокин, А. А. Захарец и Е. В. Воронцова, «Адаптация студентов с отклонениями в состоянии здоровья к прикладной физической подготовке», *Человек. Спорт. Медицина*, т. 22, № S2, с. 175–181, 2022.

REFERENCES

- [1] R. P. Brown and P. L. Gerbarg, «Sudarshan Kriya yogic breathing in the treatment of stress, anxiety, and depression», *Journal of Alternative & Complementary Medicine*, vol. 11, no. 1, pp. 189–201, 2005.
- [2] V. A. Cornelissen and N. A. Smart, «Exercise training for blood pressure management in adults with hypertension: a meta-analysis», *Journal of the American Heart Association*, vol. 2, no. 1, 2013.
- [3] D. H. Rose and A. Meyer, «Universal Design for Learning in Postsecondary Education: Reflections on Principles and their Application», *Journal of Postsecondary Education and Disability*, vol. 19, no. 2, pp. 135–151, 2006.
- [4] S. P. Evseev, *Teoriya i organizaciya adaptivnoj fizicheskoj kul'tury* [Theory and organization of adaptive physical culture]. Moscow, Russia: Sport, 2016, 616 p.
- [5] Z. A. Movkebaeva, *Inklyuzivnoe obrazovanie v Respublike Kazakhstan: problemy i perspektivy* [Inclusive education in the Republic of Kazakhstan: problems and prospects]. Almaty, Kazakhstan: Abai KazNPU, 2019, 190 p.
- [6] *Nacional'nyj doklad o sostoyanii razvitiya sistemy obrazovaniya RK* [National report on the state of development of the education system of the RK]. Astana, Kazakhstan, 2025.
- [7] E. N. Sagyndykov, *Qazaqtyn ulttyq ойындары* [Kazakh national games]. Almaty, Kazakhstan: Rauan, 1991, 176 p.
- [8] R. Sergazinov and A. Trus, «K voprosu optimizacii fizkul'turno-sportivnoj deyatel'nosti studentov vysshih zavedenij» [To the question of optimization of physical culture and sports activities of university students], *Vestnik KariU*, no. 2 (41), pp. 98–102, 2023.
- [9] A. V. Rusanov and E. A. Milashechkina, “Application of breathing practices for correcting health deviations in students: An analytical review,” *Human. Sport. Medicine*, vol. 22, no. 4, pp. 168–176, 2022.
- [10] D. V. Viktorov, V. V. Kokin, A. A. Zakharets, and E. V. Vorontsova, “Adaptation of students with health impairments to applied physical training,” *Human. Sport. Medicine*, vol. 22, no. S2, pp. 175–181, 2022.

Экономика. Жалпы білім беретін, әлеуметтік-гуманитарлық және іргелі пәндер.

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/143>

MOTIVATIONS OF STUDENTS TO LESSONS IN PHYSICAL CULTURE AND SPORTS AT HIGH SCHOOL

¹**Kolesnikova R.K.*

¹*Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan*

** Correspondent's E-mail: r.kolisnikova@tttu.edu.kz*

Author information:

Kolisnikova Raissa Kasimovna, Karaganda Industrial University, 101400, Republic Avenue, 30, Temirtau, Karaganda region, Kazakhstan, e-mail: r.kolisnikova@tttu.edu.kz

Abstract — The article considers the reasons that motivate students to actively engage in physical education and sports, the issues of students' lifestyle, and managing their physical condition. A student should be able to properly allocate his free time and devote it to study, physical education, proper nutrition, and enough sleep. Classes held in sports sections encourage students to lead a healthy lifestyle.

Keywords — motivation, physical education, students, high school, educational process, health, sports, artificial intelligence.

ЖОҒАРЫ МЕКТЕПТЕ ДЕНЕ ШЫНЫҚТЫРУ МЕН СПОРТПЕН АЙНАЛЫСУҒА СТУДЕНТТЕРДІ ҢЫТАЛАНДЫРУ

¹**Колесникова Р.К.*

¹*Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан*

**Корреспондент E-mail: r.kolisnikova@tttu.edu.kz*

Авторлар туралы ақпарат:

Колесникова Раиса Касимовна, Қарағанды индустриялық университеті, 101400, Республика даңғылы, 30, Теміртау, Қарағанды облысы, Қазақстан, e-mail: r.kolisnikova@tttu.edu.kz

Абстракт — Мақалада студенттерді дене шынықтырумен және спортпен белсенді айналысуға ынталандыратын себептер, студенттердің өмір салты, олардың физикалық жағдайын басқару мәселелері қарастырылады. Студент бос уақытын дұрыс бөліп, оны оқуға, денені шынықтыруға, дұрыс тамақтануға және жеткілікті ұйқыға арнай білуі тиіс. Спорттық секцияларда өткізілетін сабақтар студенттерді салауатты өмір салтын ұстануға ынталандырады.

Кілт сөздер — мотивация, дене шынықтыру, студенттер, жоғары мектеп, білім беру үдерісі, денсаулық, спорт түрлері, жасанды интеллект.

МОТИВАЦИИ СТУДЕНТОВ К ЗАНЯТИЯМ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРОЙ И СПОРТОМ В ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ

¹**Колесникова Р.К.*

¹*Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан*

** E-mail корреспондента: r.kolisnikova@tttu.edu.kz*

Информация об авторах:

Колесникова Раиса Касимовна, Карагандинский индустриальный университет, 101400, проспект Республики, 30, Темиртау, Карагандинская область, Казахстан, e-mail: r.kolisnikova@tttu.edu.kz

Аннотация — В статье рассматриваются причины, мотивирующие студентов к активному участию в занятиях физической культурой и спортом, вопросы образа жизни студентов и управления их физическим состоянием.

Студент должен уметь правильно распределять свое свободное время и посвящать его учебе, физической культуре, правильному питанию и достаточному сну. Занятия в спортивных секциях способствуют ведению здорового образа жизни.

Ключевые слова — мотивация, физическое воспитание, студенты, старшая школа, образовательный процесс, здоровье, спорт, искусственный интеллект.

НЕГІЗГІ ЕРЕЖЕЛЕР

Белгілі бір спорт түріне негізделген курстар студенттерде дене шынықтыру мен спортқа деген қызығушылық пен ынта қалыптастырады.

Сонымен қатар, спорттық секцияларға қатысу студенттердің тәртіптілігін тәрбиелейді және дене шынықтырудың тек денсаулықты нығайтатын құрал ғана емес, жалпы адамзат мәдениетінің бір бөлігі екендігін түсінуге көмектеседі.

Бұл студентке өз қабілеттері мен дағдыларын дамытуға мүмкіндік беретін спорт секциясын өз бетінше таңдауға, сондай-ақ дене шынықтырумен және спортпен жүйелі түрде айналысуға ішкі қажеттілікті қалыптастыруға жағдай жасайды.

Спортпен дұрыс айналысу арқылы келесі нәтижелерге қол жеткізуге болады: әртүрлі дағдылар мен іскерліктерді қалыптастыру; күнделікті жұмысқа қабілеттілікті арттыру; дене бітімі мен сымбатын дамыту; дене шынықтыру саласындағы пайдалы білім алу.

КІРІСПЕ

Денсаулықты сақтау және салауатты өмір салтын ұстану мәселесі әлі күнге дейін өзекті болып қала береді. Бүгінгі таңда жастардың денсаулығы экологиялық және әлеуметтік проблемалардың әсерінен, сондай-ақ қимыл-қозғалыстың аздығына байланысты нашарлап барады. Сондықтан студенттердің дене мәдениеті мен спортпен айналысуына деген ынтасын қалыптастыруға көмектесу аса маңызды.

Қазіргі қоғамда дене мәдениеті мен спортпен шұғылдануға арналған мүмкіндіктер өте көп. Осыған байланысты студенттер арасындағы дәстүрлі дене шынықтыру сабақтары бұрынғыдай үлкен қызығушылық тудырмай отыр. Осыны ескере отырып, оқытушылар жоғары оқу орнының материалдық-техникалық базасын жаңартып, дене шынықтыру сабақтарын студенттердің қызығушылықтарына, денсаулық көрсеткіштеріне және физикалық мүмкіндіктеріне сәйкес ұйымдастыруы қажет.

Қазіргі заманда жасанды интеллект осындай мәселелерді шешуде негізгі құралдардың біріне айнала алады. Жасанды интеллекттің көмегімен әрбір студенттің жеке қажеттіліктерін ескеретін жеке дене тәрбиесі бағдарламаларын әзірлеуге

болады. Бұл студенттердің спортпен айналысуға және өз денсаулығын нығайтуға деген ынтасын арттырады. Сонымен қатар, жасанды интеллект студенттің физикалық дайындығы мен денсаулық жағдайына сәйкес жаттығулар мен жүктемені дұрыс таңдауға көмектеседі.

Зерттеу олқылығы. Студенттер арасындағы дәстүрлі дене шынықтыру сабақтары бұрынғыдай үлкен қызығушылық тудырмай отыр. Өкінішке қарай, жыл сайын дене шынықтыру сабақтарына қанағаттанбайтын студенттердің саны артып келеді. Оның негізгі себептерінің бірі – мотивацияның және дене шынықтыру мен спорттың маңызын түсінудің жеткіліксіздігі.

Кейбір студенттер сабақты тек сынақ тапсыру, қарыздарын жабу немесе сабақтан қалған уақытты өтеу үшін ғана оқиды. Осыған байланысты студенттердің жеке қажеттіліктеріне, денсаулық көрсеткіштеріне және физикалық мүмкіндіктеріне сәйкес дене шынықтыру сабақтарын ұйымдастыру қажет.

Ғылыми жаңалық. Қазіргі заманда жасанды интеллект осындай мәселелерді шешуде негізгі құралдардың біріне айнала алады. Жасанды интеллекттің көмегімен әрбір студенттің жеке қажеттіліктерін ескеретін жеке дене тәрбиесі бағдарламаларын әзірлеуге болады.

ҚарИУ-дегі спорттық базаның жоғары деңгейі және оқытушылар құрамының кәсібилігі көптеген спорттық бағыттарды қамтитын оқу сабақтарын ұйымдастыруға мүмкіндік береді. Бұл студентке өз қабілеттері мен дағдыларын дамытуға мүмкіндік беретін спорт секциясын өз бетінше таңдауға жағдай жасайды.

ӘДЕБИЕТ ШОЛУЫ

Бұл мәселені спорт түрлері бойынша өткізілетін сабақтар арқылы шешуге болады, мысалы, секциялық жаттығулар арқылы. Спорттық секцияларда жаттығу барысында студенттер салауатты өмір салтына бейімделіп, жоғары оқу орнындағы дене тәрбиесінің негізгі мақсатын жүзеге асыруға ықпал етеді [2].

Спорт түрлері бойынша секциялық сабақтарда студенттердің спортқа деген оң көзқарасы қалыптасып, физикалық дамуға және жеке тұлғаны

жетілдіруге бағытталған тұрақты ұмтылыс пайда болады [2].

МАТЕРИАЛДАР МЕН ӘДІСТЕР

Сонымен қатар, студенттерге көптеген зерттеулерге негізделген мотивациялық дәріс өткізілді. Бұл зерттеулер спортпен немесе дене шынықтырумен айналысудың адам ағзасына оң әсер етіп, сауықтыру және алдын алу әсерін көрсететінін дәлелдеді.

Қазіргі таңда бұл фактор аса маңызды, себебі түрлі ауруларға шалдыққан адамдар саны жыл сайын өсіп келеді. Бұрын егде жастағы адамдарға тән болған аурулар (гипертония, остеохондроз, жүрек аурулары және т.б.) бүгінде жас кезден бастап байқалуда. Сондықтан мұндай дерттердің алдын алу құралы ретінде дене шынықтыру мен спорт студенттің күнделікті өмірінің маңызды бөлігі болуы тиіс.

Зерттеуге қатысушылардан хабарланған келісім алынды.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ

Біздің жоғары оқу орнымызда келесі спорт түрлері бойынша секциялық сабақтар ұйымдастырылған:

- спорттық ойындар: волейбол, баскетбол, үстел теннисі, футбол;
- жекпе-жек түрлері: еркін күрес;
- атлетикалық спорт түрлері: армрестлинг және гир спорты.

Осылайша, студенттердің дене шынықтыру сабақтарын таңдауға өзіндік мүмкіндігі бар. Студенттер спорт түрлері бойынша сабақтарға кешкі уақытта қатысады. Үздік студенттерден институттың құрама командалары жасақталған.

Денсаулық жағдайына байланысты арнайы медициналық топқа жататын студенттер ұйымдастырылған жалпы дене дайындығы (ЖДД) секцияларында жаттығады. Мұндай студенттер үшін олардың ауруларына сәйкес ағзаға түсетін жүктеме деңгейі жеке түрде белгіленеді. Сонымен қатар, бұл топтағы студенттерге шахмат, дойбы, тоғызқұмалақ секциялары ұсынылады, бұл оларға қалалық турнирлерге және жоғары оқу орындары арасындағы спартакиадаларға қатысуға мүмкіндік береді.

Денсаулығында ауытқуы жоқ студенттер үшін фитнес пен кроссфит секциялары қарастырылған. Бұл бағыттар ағзаны сауықтыруға және нығайтуға ықпал етеді. Студент жігіттер арасында күштік фитнес ерекше танымал.

ҚарИУ-дегі спорттық базаның жоғары деңгейі және оқытушылар құрамының кәсібилігі көптеген спорттық бағыттарды қамтитын оқу сабақтарын ұйымдастыруға мүмкіндік береді. Олардың қатарында: спорттық ойындар (баскетбол, футбол, волейбол), ауыр атлетика, пауэрлифтинг, фитнес, үстел теннисі, жалпы дене дайындығы топтары, үстел ойындары бар.

Спортпен дұрыс айналысу арқылы келесі нәтижелерге қол жеткізуге болады:

- әртүрлі дағдылар мен іскерліктерді қалыптастыру;
- күнделікті жұмысқа қабілеттілікті арттыру;
- дене бітімі мен сымбатын дамыту;
- дене шынықтыру саласындағы пайдалы білім алу.

Денсаулықты сақтау үшін гигиеналық гимнастика жаттығуларын және шынықтыру процедураларын да ұмытпау қажет. Олар адамның жалпы жағдайына оң әсер етіп, негізгі физикалық жүктемелерді толықтырады.

Гигиеналық гимнастика ағзаның белсенді күйге тезірек өтуіне көмектесіп, шаршауды азайтады және ұйқыны қалыпқа келтіреді. Сонымен қатар, серуендеу, жүгіру, шаңғы тебу, велосипед тебу сияқты сауықтыру серуендерін күн тәртібіне енгізу де пайдалы. Бұл жаттығулар жүрек-қан тамырлары мен тыныс алу жүйесін нығайтуға бағытталған.

Осылайша, жоғары оқу орнында студенттерді дене шынықтырумен және спортпен айналысуға ынталандыру үшін олардың спортқа деген қызығушылығын арттыратын үш негізгі шартты сақтау қажет.

Біріншіден, студенттерді спорттық ортаға кеңінен тарту үшін дене шынықтыру-спорт кешенінің бай материалдық-техникалық базасы болуы қажет. Бұл университеттің құрама командаларының құрамын кеңейтуге және қалалық, облыстық, тіпті республикалық жарыстарда жеңістерге жетуге мүмкіндік береді.

Екіншіден, оқытушылар құрамының кәсіби деңгейі мен педагогикалық шеберлігі аса маңызды. Оқытушы қазіргі студенттердің спортқа деген қажеттіліктерін түсініп, университеттің мүмкіндіктерін тиімді пайдалана отырып, студенттердің қабілеттерін дамыту үшін бар күшін салуы тиіс.

Қорытындылай келе, студенттердің дене шынықтырумен және спортпен жүйелі түрде айналысуын қалыптастыру үшін материалдық-техникалық база, оқытушылардың кәсіби деңгейі

және студенттерге спорттың денсаулыққа әсерін түсіндіру қатар жүзеге асырылуы қажет.

ҚОРЫТЫНДЫ

«Қорытынды» бөлімі мақаланың негізгі элементі болып табылады. Ол аңдатпаны толықтырып, әдетте инженерлік мазмұнды бағалау үшін сарапшылар тарапынан қолданылады. Қорытынды — бұл тек негізгі тақырыптардың қысқаша жиынтығы немесе зерттеу міндетін қайта баяндау емес, маңызды тұстардың синтезі және қажет болған жағдайда болашақ зерттеулер үшін жаңа бағыттарға ұсыныстарды қамтиды.

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ

Авторлар мүдделер қақтығысының жоқ екенін мәлімдейді.

АВТОРДЫҢ ҮЛЕСІ

Колесникова Р.К.: зерттеу жүргізді; деректерді талдады; мақаланы жазды. Автор мақаланың соңғы нұсқасын мақұлдады.

Авторлық құқық © 2026 автор(лар)ға тиесілі. Бұл мақала [Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) (CC BY-SA 4.0) лицензиясы бойынша ашық қолжетімді болып табылады. Лицензия түпнұсқа еңбекке тиісті түрде сілтеме жасалған жағдайда, кез келген ортада пайдалануға, таратуға және қайта жариялауға рұқсат береді. Туынды материалдар осы лицензияның дәл осындай шарттарымен таратылуы тиіс.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- [1] V. V. Belianicheva, «Studentterde dene shynyqtyrumen ainalysuga degen motivatsiiany qalyptastyru», Dene shynyqtyru zhane sport: gylım men praktikanyn integratsiiasy, no. 2, p. 6, 2009.
- [2] E. P. Il'in, Dene tarbiesi psikhologiiiasy. Moscow, Russia: Prosveshchenie, 2007, pp. 42–43.
- [3] I. S. Syrvacheva, «Dene zhattygularymen oz betinshe ainalysuga motivatsiia», in Dene shynyqtyru, densaulыq: maseleler, perspektivalar, tekhnologiialar: gylыmi maqalalar zhinagy.

REFERENCES

- [1] V. V. Belianicheva, «Studentterde dene shynyqtyrumen ainalysuga degen motivatsiiany qalyptastyru», Dene shynyqtyru zhane sport: gylım men praktikanyn integratsiiasy, no. 2, p. 6, 2009.
- [2] E. P. Il'in, Dene tarbiesi psikhologiiiasy. Moscow, Russia: Prosveshchenie, 2007, pp. 42–43.
- [3] I. S. Syrvacheva, «Dene zhattygularymen oz betinshe ainalysuga motivatsiia», in Dene shynyqtyru, densaulыq: maseleler, perspektivalar, tekhnologiialar: gylыmi maqalalar zhinagy.

Экономика. Жалпы білім беретін, әлеуметтік-гуманитарлық және іргелі пәндер.

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/148>

PROFESSIONAL AND PERSONAL EDUCATION OF STUDENTS IN THE PROCESS OF PHYSICAL EDUCATION AND SPORTS

¹**Paltseva E. V.*

¹*Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan*

** Correspondent's E-mail: e.paltseva@tttu.edu.kz*

Author information:

Paltseva Evgeniya Varfalameevna, Karaganda Industrial University, 101400, Republic Avenue, 30, Temirtau, Karaganda region, Kazakhstan, e-mail: e.paltseva@tttu.edu.kz

Abstract — This article discusses the influence of physical culture and sports on the formation and development of professional and personal qualities of students of higher educational institutions. Describes the qualities that the student acquires in the process of physical education. Also considered the influence of sports on the physical, moral and mental spheres of human life. The methods that are used in the physical education of students in the lessons of physical culture are analyzed.

Keywords — health, physical culture, sports, personality development, professional activity, personality formation, psychosomatic state.

СТУДЕНТТЕРДІ ДЕНЕ ШЫНЫҚТЫРУ ЖӘНЕ СПОРТ САБАҚТАРЫ ҮДЕРІСІНДЕ КӘСІБИ-ТҮЛҒАЛЫҚ ТӘРБИЕЛЕУ

¹**Пальцева Е.В.*

¹*Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан*

**Корреспондент E-mail: e.paltseva@tttu.edu.kz*

Авторлар туралы ақпарат:

Пальцева Евгения Варфаламеевна, Қарағанды индустриялық университеті, 101400, Республика даңғылы, 30, Теміртау, Қарағанды облысы, Қазақстан, e-mail: e.paltseva@tttu.edu.kz

Абстракт — Бұл мақалада жоғары оқу орындарындағы студенттердің кәсіби-тұлғалық қасиеттерінің қалыптасуы мен дамуына дене шынықтыру және спорттың әсері қарастырылған. Студенттің дене шынықтырумен айналысу барысында қалыптастыратын қасиеттері сипатталып, спортпен шұғылданудың адамның физикалық, моральдық және зияткерлік өмір салаларына ықпалы көрсетілген, сондай-ақ студенттердің қозғалыс құзыреттіліктерін қалыптастыруда қолданылатын әдістер талданған.

Кілт сөздер — денсаулық, дене шынықтыру, спорт, тұлғаның дамуы, кәсіби қызмет, тұлғаны қалыптастыру, психосоматикалық жағдай.

ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ЛИЧНОСТНОЕ ВОСПИТАНИЕ СТУДЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ ЗАНЯТИЙ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРОЙ И СПОРТОМ

¹**Пальцева Е.В.*

¹*Карагандинский индустриальный университет, Теміртау, Казахстан*

** E-mail корреспондента: e.paltseva@tttu.edu.kz*

Информация об авторах:

Пальцева Евгения Варфаламеевна, Карагандинский индустриальный университет, 101400, проспект Республики, 30, Теміртау, Карагандинская область, Казахстан, e-mail: e.paltseva@tttu.edu.kz

Аннотация — В данной статье рассмотрено влияние физической культуры и спорта на формирование и развитие профессионально-личностных качеств студентов в высших учебных заведениях. Описаны качества, приобретаемые студентом в процессе занятий физкультурой, показано влияние занятий спортом на физическую, моральную и умственную сферы жизни человека, проанализированы методы, применяемые для формирования двигательных компетенций студентов.

Ключевые слова — здоровье, физическая культура, спорт, развитие личности, профессиональная деятельность, формирование личности, психосоматическое состояние.

НЕГІЗГІ ЕРЕЖЕЛЕР

Дене мәдениеті тек еңбек өнімділігінің көрсеткіші ғана емес, сонымен бірге кәсіби қызметтің кез-келген түріне дайындықтың маңызды құрамдас бөлігі болып саналады.

Сондықтан спорт пен дене шынықтыру арқылы жүзеге асатын студенттің кәсіби-тұлғалық дамуының түрлерін меңгерудің маңызы зор.

Оқу процесінде қолданылған ойын әдісі білім алушылардың ептілік, кеңістікте бағдарлана білу, бастамашылдық және дербестік сияқты үйлесімді дамыған тұлғаны қалыптастырудың ажырамас белгілері болып табылатын қасиеттерін дамытты.

Олар кәсіби сипаттағы қойылған міндеттерді анағұрлым тиімді әрі жылдам шешуге қабілеттілік танытты.

КІРІСПЕ

Адамның тұтастығы және оның таңдаған мамандығы туралы тұжырымдама адам санасында ақпараттың әртүрлі түрлері арқылы көрініс табады. Бұл мәселені зерттей отырып, Э.Ф.Зеер тұлға мен мамандық арасында ерекше психологиялық кеңістік бар екенін жазады. Бұл кеңістіктің мазмұнын студентті болашақ кәсібіне дайындайтын психофизикалық жүйелер құрайды.

Кәсіби қызмет — адамның физикалық және адамгершілік күштерін қолдану саласы, ол оған өмір сүруге және өзін-өзі жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Демек, тұлғаның дамуы кәсіби дамудың бастапқы алғышарты болып табылады, ал кәсіби даму өз кезегінде адамның тұлғалық функцияларының жалпы дамуына ықпал етеді. Сонымен қатар, кәсіби қызмет тұлғаны қалыптастырудың негізгі факторларының бірі болып саналады.

Маман да, тұлға сияқты, туа пайда болмайды, қалыптасады. Көптеген ғасырлар бойы адам биологиялық жаратылыс ретінде айтарлықтай өзгерген жоқ, ал оны қоршаған мамандықтар үнемі өзгеріп отырды. Осыдан табиғи жағдайлардың әмбебап әрі кәсіби тұрғыдан бейтарап болғаны, адамның сан алуан мамандықтарды меңгеруіне мүмкіндік бергені туралы қорытынды жасауға болады.

Дегенмен, бұл мүмкіндіктер шексіз емес, сондықтан белгілі бір мамандықты игеру де, кәсіби қызметтің өзі де адамның даралық ерекшеліктерін сақтап қалады.

Тәжірибе көрсеткендей, кәсіби даярлығы мен ынтасы жеткілікті болғанның өзінде, барлық адамдар кейбір мамандықтарды қысқа мерзім ішінде меңгере алмайды.

Әрбір мамандық адамнан ерекше дене дайындығын талап етеді және нақты талаптар қояды. Бұл талаптар ішкі жүйекұраушы және сыртқы жүйеанықтаушы факторлар арқылы көрініс табады. Ерекше сыртқы жағдайларға діріл, климат, ауа құрамы, стресс факторлары және тағы басқа жатады. Ал екінші топтағы факторларға кез келген кәсіби қызмет барысында ақпаратты қабылдау ерекшеліктері, сондай-ақ еңбек әрекеттерінің моторлық ерекшеліктері кіреді.

Дене мәдениеті деп адамның мәдени қызметінің бір түрі және жеке тұлға мен қоғам үшін пайдалы бұлшықет белсенділігінің ерекше формасы түсініледі. Демек, кез келген кәсіби қызмет адамның бұлшықет белсенділігі мен мүмкіндіктеріне тәуелді болады. Сонымен қатар, дене мәдениеті тек еңбек өнімділігінің көрсеткіші ғана емес, сонымен бірге кәсіби қызметтің кез-келген түріне дайындықтың маңызды құрамдас бөлігі болып саналады.

Жоғары оқу орындарының көпдеңгейлі жүйесі тұлғаның дамуына қолайлы орта қалыптастырып, кәсіби қызметтің тиімді моделін құруға ықпал етеді. Сондықтан спорт пен дене шынықтыру арқылы жүзеге асатын студенттің кәсіби-тұлғалық дамуының түрлерін меңгерудің маңызы зор.

Зерттеу олқылығы. Тәжірибе көрсеткендей, кәсіби даярлығы мен ынтасы жеткілікті болғанның өзінде, барлық адамдар кейбір мамандықтарды қысқа мерзім ішінде меңгере алмайды.

Әрбір мамандық адамнан ерекше дене дайындығын талап етеді және нақты талаптар қояды.

Бұл талаптар ішкі жүйекұраушы және сыртқы жүйеанықтаушы факторлар арқылы көрініс табады.

Ғылыми жаңалық. Дене мәдениетіндегі кәсіби трансформация физикалық жаттығуларды орындаудағы өз мүмкіндіктерін саналы түрде

түсіну арқылы жүзеге асып, нәтижесінде жағымды эмоциялар артып, жағымсыз эмоциялардың деңгейі төмендеді.

Дене шынықтыру мен спорт арқылы қалыптасқан жеке белсенділік стилі кейіннен кәсіби қызметке де ауысып, студенттің университетті аяқтағаннан кейін тек кәсіби міндеттерді ғана емес, өмірлік мәселелерді де тиімді шеше алатын тұлға болып қалыптасуын айқындайды.

ӘДЕБИЕТ ШОЛУЫ

Бұл мәселені зерттей отырып, Э.Ф.Зеер тұлға мен мамандық арасында ерекше психологиялық кеңістік бар екенін жазады.

Сонымен қатар, кәсіби қызмет тұлғаны қалыптастырудың негізгі факторларының бірі болып саналады.

МАТЕРИАЛДАР МЕН ӘДІСТЕР

Студенттердің кәсіби-тұлғалық дамуын зерттеу және қалыптастыру мақсатында жоғары оқу орындарындағы дене тәрбиесінің бірнеше негізгі педагогикалық әдістері кешенді түрде қолданылды.

Бірінші кезекте, жаттығулардың нақты белгіленген бағдарламасын қамтитын, онда барлық жаттығулар, олардың орындалу реті және қайталану саны, сонымен қатар әртүрлі жаттығулар кезіндегі жүктеме динамикасы, орындалу орны мен тәсілдер арасындағы демалыс уақыты сипатталатын реттелген тәжірибе әдісі қолданыс тапты.

Сонымен қатар зерттеу барысында ойын сюжетін пайдалана отырып, барлық іс-шараларды алдын ала ойластырылған жоспар бойынша ұйымдастыруға негізделген ойын әдісі енгізілді.

Бұл әдісте нақты міндеттерге сәйкес шынайы өмірден, тұрмыстық және еңбек әрекеттерінен алынған немесе әдейі құрастырылған сюжеттер қолданылды.

Студенттерде адамгершілік және ерік-жігерлік қасиеттерді тәрбиелеуге қажетті дағдылар мен қабілеттерді дамыту мақсатында бәсекелестік немесе жарыс әдісі педагогикалық процеске енгізілді.

Аталған әдіс адам ағзасының барынша жоғары функционалдық мүмкіндіктерін көрсетуге ықпал ететін ерекше эмоционалдық-физиологиялық жағдай туғызу үшін тек алдын ала дайындықтан кейін ғана жүзеге асырылды.

Сонымен қатар, білім алушылардың арасында ақпарат пен білімді жеткізу, қабылдау қабілетін

тереңдету, нәтижелерді талдау және бағалау мақсатында тактильдік ақпарат пен сөзді қолдануды білдіретін вербалды және сенсорлық әдістер қатар пайдаланылды.

Сенсорлық әдіс арқылы көру мүшелерімен бірге есту және тактильдік сезім мүшелерінің белсенді қатысуымен барынша көрнекілік қамтамасыз етілді.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ

Қолданылған педагогикалық әдістердің нәтижесінде студенттердің дене шынықтыру сабағындағы даму көрсеткіштері мен олардың кәсіби қасиеттерге трансформациялану сипаты анықталды.

Тәжірибе көрсеткендей, физикалық жаттығуларды орындау кезінде бейнелі есте сақтаудың әртүрлі түрлері, атап айтқанда есту, көру, тактильдік, сезіну және эмоциялық жады қатарлары іске қосылып, әртүрлі сезімдер мен бейнелер арқылы орындалатын жаттығу туралы тұтас түсінік қалыптастырды.

Дене мәдениетіндегі кәсіби трансформация физикалық жаттығуларды орындаудағы өз мүмкіндіктерін саналы түрде түсіну арқылы жүзеге асып, нәтижесінде жағымды эмоциялар артып, жағымсыз эмоциялардың деңгейі төмендеді.

Оқу процесінде қолданылған ойын әдісі білім алушылардың ептілік, кеңістікте бағдарлана білу, бастамашылдық және дербестік сияқты үйлесімді дамыған тұлғаны қалыптастырудың ажырамас белгілері болып табылатын қасиеттерін дамытты.

Өз қызметін өз бетінше ұйымдастыру дағдыларын меңгерген студенттердің физикалық және адамгершілік тұрғыдан мықты болып, таңдаған мамандығына байланысты туындайтын компьютер алдында ұзақ уақыт отыру, аудиторияда ұзақ тұру, түнгі уақытта сергек жүру, сондай-ақ жүйке-эмоциялық шамадан тыс жүктемелер сияқты қиындықтарға тез бейімделуге дайын екендігі байқалды.

Олар кәсіби сипаттағы қойылған міндеттерді анағұрлым тиімді әрі жылдам шешуге қабілеттілік танытты.

Алынған мәліметтер студенттік жас кезеңнің мысалында әлеуметтік кемелдену деңгейінің оң бағытта өзгеретінін байқауға мүмкіндік береді, өйткені студенттер өз таңдауларын жасап, өзін-өзі жүзеге асыруға көптеген мүмкіндіктерге ие болады.

Мамандық пен адам арасындағы байланыс адамның өз мүмкіндіктерін саналы түрде түсініп, болашақ кәсібіне қатысты келешек жоспарларын құруымен тығыз байланысты және бұл оның өзіне

деген қатынасының белгілі бір деңгейі арқылы жүзеге асады.

Тұлғаның бұл қыры өте маңызды, өйткені ол белсенді қызметтің бағыттылығын сипаттайды.

Жүйенің жетілуі ішкі факторлар мен дербестік қасиетін көрсететін ішкі күшке сүйене отырып жүзеге асады.

Тұлғаның дамуы мен кәсіби бағыттылығы дене тәрбиесінің құралдары мен әдістері арқылы қалыптасады.

Физикалық даму кез-келген қызмет түрінің ажырамас бөлігі болып табылады және студенттердің кәсіби білім алу үдерісі мен нәтижесін өз бойында біріктіреді.

Студент болашақ мамандығы үшін дене дайындығының маңызын түсінген кезде, ол физикалық және ақыл-ой дамуын ұтымды үйлестіруге белсенді түрде ұмтыла бастайды.

Осы тұрғыдан алғанда, дене шынықтыру және спорттық қызмет рөлдік тәжірибені кеңейтуге ықпал етеді, студенттердің әлеуметтену үдерісіне түзетулер енгізіп, оларды белсенді қоғамдық өмір салтын ұстануға бағыттайды.

Сонымен қатар, ол студенттерді адамгершілікке, еңбекқорлыққа, идеялық және моральдық құндылықтарға тәрбиелейді.

Коммуникабельділік студенттердің оқу орталарымен, кәсіби ортамен және қоғаммен өзара әрекеттесе алу қабілетін сипаттайды.

Қарым-қатынастың ауызша емес тілін толыққанды қолдана білу студенттердің психикалық денсаулығын сақтауға ықпал етеді.

Өзімді түсіну арқылы басқаларды түсіну идеясы адамның жеке тәжірибесімен байланысты болып келеді.

Ұқсас жағдайлардағы өз әрекеттері мен себептерін талдау арқылы адам басқа адамның жағдайын түсіне алады, бұл кейіннен алынған

тәжірибені кәсіби қызметке көшіруге септігін тигізеді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Осылайша, дене шынықтыру кәсіби білім берудің де, адамның жалпы қызметінің де әрі даму факторы, әрі нәтижесі болып табылады деген қорытынды жасауға болады.

Бұл тек адамның физикалық еңбекті жаттығулармен алмастыру идеясы ғана емес, тұлғаның жан-жақты дамуын қамтамасыз ететін тиімді әдіс екенін атап өткен жөн.

Дене шынықтыру мен спорт арқылы қалыптасқан жеке белсенділік стилі кейіннен кәсіби қызметке де ауысып, студенттің университетті аяқтағаннан кейін тек кәсіби міндеттерді ғана емес, өмірлік мәселелерді де тиімді шеше алатын тұлға болып қалыптасуын айқындайды.

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ

Авторлар мүдделер қақтығысының жоқ екенін мәлімдейді.

АВТОРДЫҢ ҮЛЕСІ

Пальцева Е.В.: зерттеу жүргізді; деректерді талдады; мақаланы жазды. Автор мақаланың соңғы нұсқасын мақұлдады.

Авторлық құқық © 2026 автор(лар)ға тиесілі. Бұл мақала [Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International](#) (CC BY-SA 4.0) лицензиясы бойынша ашық қолжетімді болып табылады. Лицензия түпнұсқа еңбекке тиісті түрде сілтеме жасалған жағдайда, кез келген ортада пайдалануға, таратуға және қайта жариялауға рұқсат береді. Туынды материалдар осы лицензияның дәл осындай шарттарымен таратылуы тиіс.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

[1] В. П. Беспалько, Компоненты педагогической технологии. М., Россия: Педагогика, 2015, 180 с.

[2] Е. В. Киселёва, «Проблемы формирования готовности студентов института физической культуры к профессиональному карьерному росту», в Современный олимпийский и паралимпийский спорт и спорт для всех: материалы 12-го международного научного конгресса (26–28 мая 2008 г.), Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодежи и туризма, М., Россия, т. 3, с. 31–32, 2008.

[3] А. С. Новосёлова и А. А. Оплетин, Саморазвитие личности студента средствами нетрадиционных методов физической культуры: учебное пособие для студентов и преподавателей высших учебных заведений. Пермь, Россия: ИВЭСЭП, 2018, 140 с.

[4] В. С. Макеева, А. Д. Куницын и В. В. Вучева, Оздоровительно-рекреативная физическая культура: учебное пособие, под ред. М. Я. Виленского. Орёл, Россия: Орёл ГТУ, 2016, 195 с.

REFERENCES

- [1] V. P. Bepal'ko, *Pedagogikalyq tehnologiyanyñ quramdas bolikteri* [Components of pedagogical technology]. Moscow, Russia: Pedagogika, 2015, 180 p.
- [2] E. V. Kiseleva, «Dene shynyqturu instituty studentterinin kasibi mansaptyq osuge daiyndygyn qalyptastyru maseleleri» [Issues of forming the readiness of students of the institute of physical culture for professional career growth], in *Qazirgi olimpiadalyq jane paralimpiadalyq sport jane barshaga arналған sport: 12 halyqaralyq gylymi kongress materialdary* (26–28 мамыр 2008 j.) [Modern Olympic and Paralympic Sport and Sport for All: Materials of the 12th International Scientific Congress (May 26–28, 2008)], Russian State University of Physical Education, Sport, Youth and Tourism, Moscow, Russia, vol. 3, pp. 31–32, 2008.
- [3] A. S. Novoselova and A. A. Opletin, *Student tulgasynyn ozin-ozı damytuyp dene shynyqturudyn dastarli emes adisteri arqyly: jogary oqu oryndary studentteri men oqytushylaryna arналған oqu quraly* [Self-development of a student's personality through non-traditional methods of physical culture: a textbook for university students and teachers]. Perm, Russia: IVESEP, 2018, 140 p.
- [4] V. S. Makeeva, A. D. Kunicin, and V. V. Vucheva, *Sauyqturu-rekreativtik dene madenieti: oqu quraly* [Wellness and recreational physical culture: a textbook], M. Ya. Vilenskiy, Ed. Orel, Russia: Orel GTU, 2016, 195 p.

Экономика. Общеобразовательные, социально-гуманитарные и фундаментальные дисциплины.

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/150>

STRATEGIC ANALYSIS AND DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS TO IMPROVE ENTERPRISE COMPETITIVENESS

^{1*}Tolenov T. R.

¹Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan

*Correspondent's E-mail: t.tolenov@nce.kz

Author information:

Tolenov Talgat Rakhymbekuly, Karaganda Industrial University, 101400, Republic Avenue, 30, Temirtau, Karaganda region, Kazakhstan, e-mail: t.tolenov@nce.kz

Abstract — The article examines the mechanisms for developing a competitive strategy for the Pavlodar region branch of the «National Center of Expertise» at the SECC of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan amidst the transformation of the laboratory services market in the Republic of Kazakhstan. Based on 2022-2025 data, an analysis of the branch's financial stability and operational efficiency was conducted. A critical dualism was identified: the presence of unique state competencies alongside declining commercial revenues and personnel shortages. Practice-oriented recommendations have been developed for digital transformation, human resources policy optimization, and the development of other business areas

Keywords — strategic management, laboratory services, competitiveness, biological safety.

КӘСПОРЫННЫҢ БӘСЕКЕГЕ ҚАБІЛЕТТІЛІГІН АРТТЫРУ БОЙЫНША СТРАТЕГИЯЛЫҚ ТАЛДАУ ЖӘНЕ ҰСЫНЫМДАР ӘЗІРЛЕУ

^{1*}Толенов Т. Р.

¹Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан

*Корреспондент E-mail: t.tolenov@nce.kz

Авторлар туралы ақпарат:

Толенов Талгат Рахымбекулы, Қарағанды индустриялық университеті, 101400, Республика даңғылы, 30, Теміртау, Қарағанды облысы, Қазақстан, e-mail: t.tolenov@nce.kz

Абстракт — мақалада Қазақстан Республикасының зертханалық қызметтер нарығының трансформациялануы жағдайында ҚР ДСМ СЭБК «Ұлттық сараптама орталығы» ШЖҚ РМК Павлодар облысы бойынша филиалының бәсекелестік стратегиясын қалыптастыру механизмдері зерттеледі. 2022-2025 жылдардағы мәліметтер негізінде филиалдың қаржылық тұрақтылығы мен операциялық тиімділігіне талдау жүргізілді. Критикалық дуализм анықталды: бірегей мемлекеттік құзыреттердің болуымен қатар коммерциялық кірістердің төмендеуі және кадр тапшылығы байқалады. Цифрлық трансформация, кадр саясатын оңтайландыру және басқа қызмет бағыттарын дамыту бойынша практикалық ұсынымдар әзірленді.

Кілт сөздер — стратегиялық менеджмент, зертханалық қызметтер, бәсекеге қабілеттілік, биологиялық қауіпсіздік.

СТРАТЕГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

^{1*}Толенов Т. Р.

¹Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

*E-mail корреспондента: t.tolenov@nce.kz

Информация об авторах:

Толенов Талгат Рахымбекулы, Карагандинский индустриальный университет, 101400, проспект Республики, 30, Темиртау, Карагандинская область, Казахстан, e-mail: t.tolenov@nce.kz

Аннотация — В статье исследуются механизмы формирования конкурентной стратегии филиала РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» КСЭК МЗ РК по Павлодарской области в условиях трансформации рынка лабораторных услуг Республики Казахстан. На основе данных 2022-2025 гг. проведен анализ финансовой устойчивости и операционной эффективности филиала РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» КСЭК МЗ РК по Павлодарской области. Выявлен критический дуализм: наличие уникальных государственных компетенций при одновременном снижении коммерческих доходов и кадровом дефиците. Разработаны практико-ориентированные рекомендации по цифровой трансформации, оптимизации кадровой политики и развитию других направлений деятельности.

Ключевые слова — стратегический менеджмент, лабораторные услуги, конкурентоспособность, биологическая безопасность.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В ходе исследования выявлены основные факторы, снижающие конкурентоспособность Филиала НЦЭ: кадровый дефицит, технологическое отставание и недостаточная маркетинговая активность. Предложена стратегия повышения конкурентоспособности, основанная на цифровизации услуг, совершенствовании кадровой политики и развитии специализированных направлений лабораторной деятельности. Реализация предложенных мероприятий позволит укрепить рыночные позиции филиала и обеспечить рост коммерческой эффективности.

ВВЕДЕНИЕ

В современной экономике Республики Казахстан конкурентоспособность организаций здравоохранения трансформируется из рыночной категории в элемент национальной биологической устойчивости.

Для филиала РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» по Павлодарской области (далее – Филиал НЦЭ) 2025 год стал периодом стратегического напряжения. Усиление позиций частных лабораторных сетей на фоне роста спроса на платные медицинские услуги вынуждает государственные структуры искать баланс между выполнением государственного заказа и сохранением финансовой устойчивости в коммерческом сегменте.

Специфика конкурентоспособности в сфере лабораторных исследований можно определить тремя факторами.

Первую очередь это высокая цена ошибки. Потребитель приобретает не услугу как таковую, а достоверный результат, влияющий на эпидемиологическую ситуацию и здоровье населения. Ошибка имеет не только экономические, но и социальные последствия.

Вторую очередь это асимметрия информации. Клиент не способен самостоятельно оценить качество лабораторного исследования. Ключевую роль играет институциональное доверие, подтвержденное международными стандартами аккредитации (ISO 15189, ISO 17025).

В-третьих, это социальная ответственность. Государственные лаборатории ограничены в ценовой гибкости вследствие обязательств по санитарно-эпидемиологическому мониторингу, что снижает их способность к агрессивной ценовой конкуренции.

Рынок лабораторных услуг Павлодарской области характеризуется активной экспансией частных сетей – Олимп, Инвиво и другие, а также региональных компаний санитарно-эпидемиологического профиля (ТОО «ТехТоргСнаб», ТОО «Гигиенист»).

Частные сети активно используют:

- автоматизированные лабораторные комплексы;
- цифровые сервисы (мобильные приложения, личные кабинеты);
- программы лояльности;
- агрессивный SMM-маркетинг.

Научная новизна. Научная новизна исследования заключается в разработке комплексной стратегии повышения конкурентоспособности государственного испытательного центра, основанной на цифровизации услуг, совершенствовании кадровой политики и развитии специализированных направлений деятельности.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Данные за последние три года демонстрируют тревожную тенденцию в коммерческом секторе (таблица 1).

Таблица 1 - Динамика доходов от коммерческой (рыночной) деятельности за последние годы.

Период	Сумма дохода (млн. тенге)	Динамика, %
2022 год	395,3	Базовый год
2023 год	281,5	Снижение на 28,8%
2024 год	283,0	Рост на 0,5%
2025 год	291,0	Рост на 2,8%

Несмотря на номинальный рост в 2024-2025 гг., динамика остается ниже уровня инфляции и темпов роста рынка медицинских услуг, что свидетельствует о снижении рыночной доли Филиала НЦЭ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Первичный анализ внутренней среды выявил три «болевые точки», ограничивающие конкурентоспособность:

1) Кадровый дефицит: Фактическая численность персонала (240 чел.) составляет лишь 72% от штатной (334 чел.). Дефицит в 28% создает избыточную нагрузку, повышает риск человеческого фактора и делает невозможным масштабирование платных услуг.

2) Технологическое отставание: Длительные циклы бюджетного планирования препятствуют оперативному обновлению парка лабораторных оборудований, что ведет к росту себестоимости одного исследования по сравнению с автоматизированными частными центрами и увеличению сроков оказания услуг.

3) Низкий уровень маркетинговой активности (Слабый маркетинг)

Филиал опирается на историческое лидерство и государственный статус, что снижает рыночную адаптивность.

Последствия:

*низкая узнаваемость среди физических лиц и малого бизнеса;

*слабое продвижение уникальных исследований;

*переток клиентов к частным сетям с развитой цифровой системой.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для преодоления выявленных разрывов предлагается стратегия, основанная на трех векторе развития:

1) Цифровая интеграция и оптимизация клиентского пути

Требуется устранить недоработки в интеграции с Damumed/eGov и провести стабилизацию недавно запущенных онлайн-

сервисов. На текущий момент недоработки препятствуют их масштабному внедрению. Приведение личных кабинетов в соответствие с запросами физических и юридических лиц позволит Филиалу НЦЭ реализовать конкурентное преимущество на рынке Павлодара в 2026 году.

2) Оптимизация кадровой политики

Для борьбы с дефицитом кадров в 28%

предлагается:

*программы удержания узких специалистов (вирусологи, бактериологи, радиологи и т.д.);

*развитие непрерывного профессионального образования;

*сотрудничество с медицинскими вузами для формирования кадрового резерва.

3) Стратегия «голубых океанов»

В условиях высокой ценовой конкуренции в сегменте массовых лабораторных исследований Филиалу НЦЭ целесообразно применять элементы стратегии «голубых океанов» не как альтернативу базовой деятельности, а как параллельный вектор развития.

Суть подхода заключается не в уходе из конкурентного пространства, а в формировании новых рыночных ниш, где уровень прямой конкуренции минимален, а ключевым фактором успеха выступают уникальные государственные компетенции, аккредитационный статус и экспертный потенциал.

1) Экологический и производственный мониторинг. Использование государственного статуса для заключения долгосрочных контрактов с промышленными предприятиями Павлодарского региона. Данный сегмент характеризуется высокой потребностью в аккредитованных измерениях и низкой чувствительностью к ценовому фактору.

2) Сложные генетические и специализированные исследования. Развитие направлений, требующих специализированного оборудования и экспертных кадров, в рамках государственных программ модернизации здравоохранения. Данные услуги малодоступны для частных лабораторий регионального уровня.

3) Лабораторный контроль физических факторов среды

Расширение услуг по анализу шума, вибрации и иных факторов производственной среды, что позволяет укрепить позиции филиала в сфере санитарно-эпидемиологического надзора и промышленной безопасности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный стратегический анализ подтвердил, что Филиал НЦЭ обладает фундаментальным преимуществом – государственным доверием и уникальной базой аккредитаций. Однако для устойчивости в условиях 2026 года необходим переход от реактивного управления к проактивному: устранение кадрового голода, запуск агрессивного цифрового маркетинга и оптимизация операционных затрат через автоматизацию. Реализация предложенных мер позволит стабилизировать коммерческие доходы и укрепить статус лидера в области биобезопасности региона.

Авторское право © 2026 принадлежит автору(ам).

Данная статья распространяется на условиях открытого доступа в соответствии с лицензией [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) (CC BY-SA 4.0). Лицензия разрешает свободное использование, распространение и воспроизведение в любой форме при условии обязательного указания авторства и сохранения той же лицензии для производных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Кодекс Республики Казахстан от 7 июля 2020 г. № 360-VI «О здоровье народа и системе здравоохранения» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 16 сентября 2025 г.).
- [2] М. Портер, Конкурентное преимущество: Как достичь высокого результата и обеспечить его устойчивость; пер. с англ. Е. Калининой, под ред. О. Шлыковой. М., Россия: Альпина Бизнес Букс, 2008.
- [3] Внутренняя отчетность Филиала РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» по Павлодарской области за 2022–2025 годы. Павлодар, Казахстан, 2025.

REFERENCES

- [1] Kodeks Respubliki Kazakhstan ot 7 iyulya 2020 g. No. 360-VI «O zdorov'e naroda i sisteme zdavookhraneniya» (s izmeneniyami i dopolnениями po sostoyaniyu na 16 sentyabrya 2025 g.).
- [2] M. Porter, Konkurentnoe preimushchestvo: Kak dostich' vysokogo rezul'tata i obespechit' ego ustoichivost'; per. s angl. E. Kalininoi, pod red. O. Shlykovoi. Moscow, Russia: Al'pina Biznes Buks, 2008.
- [3] Vnutrennyaya otchetnost' Filiala RGP na PKhV «Natsional'nyi tsentr ekspertizy» po Pavlodarskoi oblasti za 2022–2025 gody. Pavlodar, Kazakhstan, 2025.

Экономика. Жалпы білім беретін, әлеуметтік-гуманитарлық және іргелі пәндер.

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/145>

KNOWLEDGE ECONOMY, INNOVATIVE MANAGEMENT AND TRANSFORMATION OF EDUCATION FOR THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF PHYSICAL EDUCATION AT THE UNIVERSITY

¹**Yakshina E. V.*

¹*Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan*

**Correspondent's E-mail: e.yakshina@tttu.edu.kz*

Author information:

Yakshina Elena Viktorovna, Karaganda Industrial University, 101400, Republic Avenue, 30, Temirtau, Karaganda region, Kazakhstan, e-mail: e.yakshina@tttu.edu.kz

Abstract — This article demonstrates that the connection between the above-mentioned areas and physical education (PE) at the university is not obvious at first glance, but upon closer analysis, it is proven to be of fundamental and fundamental importance. Physical education is turning from a simple “physical education lesson” into a vital element of the university ecosystem working on the principles of sustainable development. The main motivation for students should not be getting a grade or a task, but rather personal interest and internal desire for physical self-improvement. The elective nature of physical education allows students to choose a sports direction that interests them, which encourages them to engage in sports systematically. The focus of the project method on the individual, the individualization of the learning process, the development of students' not only personal, but also interdisciplinary skills increase the student's interest and provide freedom in mastering the subject.

Keywords — fundamental, transformation, ecosystem element, physical self-improvement, elective behavior.

УНИВЕРСИТЕТТЕ ДЕНЕ ТӘРБИЕСІНІҢ ТҰРАҚТЫ ДАМУЫ ҮШІН БІЛІМ ЭКОНОМИКАСЫ, ИННОВАЦИЯЛЫҚ МЕНЕДЖМЕНТ ЖӘНЕ БІЛІМ БЕРУДІ ТРАНСФОРМАЦИЯЛАУ

¹**Якшина Е.В.*

¹*Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан*

** Корреспондент E-mail: e.yakshina@tttu.edu.kz*

Авторлар туралы ақпарат:

Якшина Елена Викторовна, Қарағанды индустриялық университеті, 101400, Республика даңғылы, 30, Теміртау, Қарағанды облысы, Қазақстан, e-mail: e.yakshina@tttu.edu.kz

Абстракт — Бұл мақалада аталған бағыттар мен университеттегі дене мәдениеті (ДМ) арасындағы байланыс алғаш қарағанда айқын көрінбегенімен, тереңірек талдағанда оның негізгі әрі іргелі мәнге ие екені дәлелденеді. Дене мәдениеті қарапайым ғана «дене шынықтыру сабағынан» тұрақты даму қағидаттарымен жұмыс істейтін университет экожүйесінің өмірлік маңызды элементіне айналуға. Білім алушылар үшін басты мотивация баға алу немесе міндет емес, керісінше, физикалық өзін-өзі жетілдіруге деген жеке қызығушылық пен ішкі ниет болуы тиіс. Дене мәдениетінің элективті сипаты студенттерге өздеріне қызықты спорт бағытын таңдауға мүмкіндік береді, бұл олардың спортпен жүйелі айналысуына ынталандырады. Жобалық әдістің жеке тұлғаға бағытталуы, оқу үдерісін дараландыруы, студенттердің тек тұлғалық емес, сонымен қатар пәнаралық дағдыларын дамытуы білім алушының қызығушылығын арттырып, пәнді меңгеруде еркіндік береді.

Кілт сөздер — іргелі, трансформация, экожүйе элементі, физикалық өзін-өзі жетілдіру, элективті мінез.

ЭКОНОМИКА ЗНАНИЙ, ИННОВАЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ И ТРАНСФОРМАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ФИЗИЧЕСКОГО ВОСПИТАНИЯ В УНИВЕРСИТЕТЕ

¹**Якшина Е.В.*

¹*Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан*

* *E-mail корреспондента: e.yakshina@tttu.edu.kz*

Информация об авторах:

Якшина Елена Викторовна, Карагандинский индустриальный университет, 101400, проспект Республики, 30, Темиртау, Карагандинская область, Казахстан, e-mail: e.yakshina@tttu.edu.kz

Аннотация — В данной статье показано, что связь между вышеупомянутыми областями и физическим воспитанием в университете не очевидна на первый взгляд, но при более тщательном анализе оказывается фундаментальной и основополагающей. Физическое воспитание превращается из простого «урока физкультуры» в жизненно важный элемент университетской экосистемы, работающей по принципам устойчивого развития. Главной мотивацией для студентов должна быть не оценка или задание, а личный интерес и внутреннее стремление к физическому самосовершенствованию. Факультативный характер физического воспитания позволяет студентам выбирать интересующее их спортивное направление, что побуждает их к систематическому занятию спортом. Ориентация проектного метода на индивидуальность, индивидуализация учебного процесса, развитие у студентов не только личностных, но и междисциплинарных навыков повышают интерес и обеспечивают свободу в освоении предмета.

Ключевые слова — фундаментальный, трансформационный, элемент экосистемы, физическое самосовершенствование, избирательное поведение.

НЕГІЗГІ ЕРЕЖЕЛЕР

Зерттеу барысында жоғары оқу орындарындағы дене тәрбиесінің білім экономикасы, инновациялық менеджмент және білім беруді трансформациялау үдерістерімен өзара байланысы анықталды.

Дене тәрбиесінің тұрақты жүзеге асырылуы студенттердің когнитивтік қабілеттерін, психологиялық тұрақтылығын және әлеуметтік дағдыларын дамыту арқылы адами капиталдың сапасын арттыруға ықпал ететіні анықталды.

Спорттық іс-әрекет барысында ынтымақтастық, коммуникация, креативтілік және сыни ойлау сияқты инновациялық менеджмент үшін қажетті 4К құзыреттерін қалыптастыруға мүмкіндік беретіні көрсетілді.

Фитнес-трекерлер, смарт-сағаттар, виртуалды тренажерлар және цифрлық платформаларды пайдалану дене тәрбиесін заманауи білім беру технологияларымен байланыстырып, студенттердің инновациялық үдерістерге бейімделуіне жағдай жасайды.

Дене тәрбиесі денсаулық мәдениетін, әлеуметтік жауапкершілікті және тұрақты даму құндылықтарын қалыптастыратын, заманауи университеттің білім беру ортасын

трансформациялауға ықпал ететін маңызды құрал ретінде айқындалды.

КІРІСПЕ

Қазіргі кезеңде тұрақты даму тұжырымдамасы білім беру жүйесіне жаңа талаптар қояды. Университеттердің негізгі міндеті тек кәсіби құзыреттілігі жоғары мамандар даярлау ғана емес, сонымен қатар дені сау, әлеуметтік жауапты және инновациялық ойлайтын тұлғаны қалыптастыру болып табылады. Осы тұрғыдан алғанда дене тәрбиесі білім беру процесінің қосалқы элементі емес, білім экономикасын дамытуға, инновациялық менеджментті жетілдіруге және білім беру жүйесін трансформациялауға ықпал ететін маңызды фактор ретінде қарастырылады.

Білім экономикасында негізгі ресурс ретінде адами капитал танылады. Инновациялық қызметтің тиімділігі мен қоғамның тұрақты дамуы адамның физикалық және психологиялық саулығына тікелей тәуелді. Сондықтан жоғары оқу орындарындағы дене тәрбиесінің рөлін заманауи әлеуметтік-экономикалық үдерістермен байланыстыра зерттеу өзекті мәселе болып табылады.

Осыған байланысты зерттеудің мақсаты жоғары оқу орындарындағы дене тәрбиесінің білім экономикасы, инновациялық менеджмент және

білім беруді трансформациялау жүйесіндегі орнын анықтау және оның адами капиталды, қажетті құзыреттерді және тұрақты даму құндылықтарын қалыптастырудағы әлеуетін қарастыру болып табылады.

Зерттеу олқылығы. Жоғары оқу орындарындағы дене тәрбиесі дәстүрлі түрде студенттердің денсаулығын нығайту және физикалық дайындығын арттыру құралы ретінде қарастырылады. Алайда оның білім экономикасындағы адами капиталды дамытуға, инновациялық менеджмент үшін қажетті құзыреттерді қалыптастыруға және білім беру жүйесін трансформациялауға ықпалы өзара байланыста қарастыруды қажет етеді.

Осы тұрғыдан алғанда дене тәрбиесінің физикалық белсенділікпен ғана шектелмейтін әлеуметтік, когнитивтік, құндылықтық және инновациялық әлеуетін кешенді түрде қарастыру маңызды. Бұл зерттеу дене тәрбиесінің аталған бағыттармен байланысын жүйелеу арқылы оның қазіргі жоғары білім беру жүйесіндегі орнын нақтылауға бағытталған.

Ғылыми жаңалық. Зерттеудің ғылыми жаңалығы дене тәрбиесінің жоғары оқу орындарындағы дәстүрлі сауықтыру қызметінен кеңірек рөлін қарастырумен сипатталады. Дене тәрбиесі білім экономикасының негізгі ресурсы болып табылатын адами капиталдың сапасын арттыруға ықпал ететін фактор ретінде қарастырылды.

Сонымен қатар спорттық іс-әрекеттің студенттердің ынтымақтастық, коммуникация, креативтілік және сыни ойлау сияқты 4К құзыреттерін қалыптастырумен байланысы анықталды. Дене тәрбиесін цифрлық технологиялармен ұштастырудың студенттердің инновациялық үдерістерді қабылдау қабілетіне ықпалы да қарастырылды.

Зерттеу нәтижелері дене тәрбиесін денсаулық мәдениетін ғана емес, әлеуметтік жауапкершілік пен тұрақты даму құндылықтарын қалыптастыратын білім беру құралы ретінде қарастыруға мүмкіндік береді.

ӘДЕБИЕТ ШОЛУЫ

Қазіргі білім беру жүйесінің трансформациясы адами капиталдың сапасын арттыруға және білім алушылардың кәсіби ғана емес, әлеуметтік және тұлғалық құзыреттерін дамытуға бағытталған. Осы үдерісте дене тәрбиесі студенттердің физикалық

және психологиялық саулығын қамтамасыз ететін маңызды құрамдас бөлік ретінде танылады.

Білім экономикасында негізгі ресурс ретінде адам капиталы қарастырылады. Адамның физикалық және психологиялық жағдайы оның интеллектуалдық еңбек өнімділігіне, инновациялық қызметке қатысуына және кәсіби әлеуетін жүзеге асыруына әсер етеді. Осыған байланысты дене белсенділігі білім алушылардың танымдық және әлеуметтік әлеуетін дамыту факторларының бірі болып табылады.

Дене тәрбиесінің студенттердің когнитивтік қабілеттеріне әсері оның есте сақтау, зейін қою және ақпаратты өңдеу үдерістерімен байланысын көрсетеді. Сонымен қатар тұрақты физикалық белсенділік күйзеліс деңгейін төмендетіп, психологиялық тұрақтылықты қалыптастыруға мүмкіндік береді.

Спорттық іс-әрекеттің әлеуметтік әлеуеті де маңызды. Әсіресе командалық спорт түрлері ынтымақтастық пен коммуникация дағдыларын қалыптастырып, студенттер арасында әлеуметтік байланыстардың дамуына жағдай жасайды. Бұл дағдылар болашақ кәсіби қызметте, ғылыми және кәсіпкерлік бастамаларды жүзеге асыруда маңызды болып табылады.

Қазіргі кезеңде дене тәрбиесі инновациялық технологиялармен де тығыз байланыста дамуда. Фитнес-трекерлер, смарт-сағаттар, виртуалды тренажерлар және цифрлық платформалар физикалық белсенділікті ұйымдастырудың жаңа мүмкіндіктерін қалыптастырады. Мұндай технологияларды пайдалану студенттердің цифрлық құзыреттіліктерін дамытуға және инновациялық үдерістерді қабылдау қабілетін арттыруға ықпал етеді.

Осылайша, дене тәрбиесін білім экономикасы, инновациялық менеджмент және білім беру жүйесінің трансформациясы контекстінде қарастыру оның қазіргі жоғары білім берудегі кеңейтілген рөлін айқындауға мүмкіндік береді.

МАТЕРИАЛДАР МЕН ӘДІСТЕР

Зерттеу барысында дене тәрбиесінің білім экономикасы, инновациялық менеджмент және білім беруді трансформациялау жүйесіндегі орнына теориялық талдау жүргізілді.

Зерттеуде әдебиеттерге шолу жасау, салыстырмалы талдау және жүйелеу әдістері қолданылды. Талдау барысында дене тәрбиесінің студенттердің когнитивтік қабілеттеріне, әлеуметтік дағдыларына, психологиялық

тұрақтылығына және құндылықтық бағдарларына ықпалы қарастырылды.

Зерттеу үш негізгі бағыт бойынша жүзеге асырылды:

1. Дене тәрбиесінің білім экономикасындағы адами капиталды дамытуға әсері;

2. Инновациялық менеджмент үшін қажетті құзыреттерді қалыптастырудағы дене тәрбиесінің рөлі;

3. Білім беру жүйесін трансформациялау жағдайындағы дене тәрбиесінің тәрбиелік және құндылықтық әлеуеті.

Талдау барысында дене тәрбиесінің физикалық белсенділікпен қатар студенттердің әлеуметтік, когнитивтік және инновациялық әлеуетін қалыптастырудағы мүмкіндіктері қарастырылды.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ

Зерттеу нәтижелері дене тәрбиесінің тұрақты дамудың негізгі бағыттарымен тығыз байланысты екенін көрсетті.

Біріншіден, дене тәрбиесі білім экономикасының басты ресурсы болып саналатын адами капиталдың сапасын арттыруға ықпал етеді. Тұрақты физикалық белсенділік студенттердің есте сақтау қабілетін, зейінін және ақпаратты өңдеу жылдамдығын жақсартады.

Екіншіден, дене тәрбиесі инновациялық менеджмент үшін маңызды болып табылатын 4К құзыреттерін дамытуға ықпал етеді.

Спорттық іс-әрекет барысында ынтымақтастық, креативтілік, коммуникация және сыни ойлау дағдылары қалыптасады. Командалық өзара әрекет студенттердің бірлесіп шешім қабылдауына, өзара байланыс орнатуына және ортақ мақсатқа жетуіне мүмкіндік береді.

Сонымен қатар фитнес-трекерлер, смарт-сағаттар, виртуалды тренажерлар және цифрлық платформалар сияқты заманауи технологияларды пайдалану дене тәрбиесін инновациялық үдерістермен байланыстырады. Бұл технологияларды қолдану студенттердің инновациялық үдерістерді қабылдау қабілетін арттырып, цифрлық құзыреттіліктерін дамытуға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар спорттық жаттығулар күйзеліс деңгейін төмендетіп, психологиялық тұрақтылықты қамтамасыз етеді. Физикалық және психологиялық тұрғыдан сау студенттер интеллектуалдық еңбек өнімділігінің жоғары

деңгейін қамтамасыз етіп, инновациялық қызметке белсенді қатыса алады.

Командалық спорт түрлері студенттер арасында әлеуметтік байланыстардың қалыптасуына мүмкіндік береді. Мұндай орта ынтымақтастықты дамытып, болашақта ғылыми және кәсіпкерлік бастамалардың пайда болуына жағдай жасайды.

Үшіншіден, дене тәрбиесі білім беруді трансформациялау міндеттерін жүзеге асыруға көмектеседі. Ол студенттердің денсаулық мәдениетін қалыптастырып, салауатты өмір салтын ұстануға ынталандырады.

Физикалық белсенділікке тұрақты қызығушылық өмір бойы білім алу қағидатын қолдауға мүмкіндік береді, себебі адамның танымдық және энергетикалық әлеуетін ұзақ мерзім бойы сақтауға жағдай жасайды.

Сонымен қатар табиғат аясындағы спорттық іс-шаралар экологиялық жауапкершілік пен тұрақты даму құндылықтарын қалыптастырады. Осы арқылы дене тәрбиесі студенттердің жеке денсаулығымен қатар олардың әлеуметтік және экологиялық жауапкершілігін дамытуға ықпал етеді.

Алынған нәтижелер дене тәрбиесінің заманауи жоғары білім беру жүйесіндегі қызметі дәстүрлі сауықтыру міндеттерімен шектелмейтінін көрсетеді. Ол білім экономикасының талаптарына жауап беретін бәсекеге қабілетті мамандарды даярлаудың маңызды құралы болып табылады.

Физикалық және психологиялық тұрғыдан сау студенттер интеллектуалдық еңбек өнімділігінің жоғары деңгейін қамтамасыз етеді және инновациялық қызметке белсенді қатыса алады. Сонымен қатар спорттық ортада қалыптасатын әлеуметтік және коммуникативтік дағдылар қазіргі еңбек нарығында жоғары сұранысқа ие.

Дене тәрбиесінің инновациялық технологиялармен ұштасуы білім беру үдерісінің тиімділігін арттырып, студенттердің цифрлық құзыреттіліктерін дамытуға мүмкіндік береді. Осы тұрғыдан алғанда дене тәрбиесі университеттің жалпы білім беру ортасынан бөлек қарастырылатын бағыт емес, оның әлеуметтік, инновациялық және тәрбиелік міндеттерімен өзара байланысты құрамдас бөлігі ретінде қарастырылуы тиіс.

Осылайша, жоғары оқу орындарындағы дене тәрбиесі тұрақты даму мақсаттарына қол жеткізудің маңызды тетігі болып табылады және

білім экономикасы мен инновациялық қоғамның қалыптасуына елеулі үлес қосады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Дене тәрбиесі тұрақты даму үшін білім берудің маңызды құрамдас бөлігі болып табылады. Зерттеу нәтижелері оның жоғары оқу орындарындағы дәстүрлі физикалық дайындық міндеттерінен кеңірек қызмет атқаратынын көрсетті.

Дене тәрбиесі білім экономикасы үшін қажетті сапалы адами капиталды қалыптастыруға, студенттердің когнитивтік және психологиялық әлеуетін дамытуға ықпал етеді.

Сонымен қатар спорттық іс-әрекет инновациялық менеджментке қажетті ынтымақтастық, креативтілік, коммуникация және сыни ойлау сияқты жұмсақ дағдыларды дамытуға жағдай жасайды.

Дене тәрбиесі денсаулық мәдениетін, әлеуметтік жауапкершілікті және тұрақты даму құндылықтарын қалыптастыруға ықпал етеді. Цифрлық технологияларды дене тәрбиесі үдерісіне енгізу оның білім беру жүйесін трансформациялау әлеуетін арттырады.

Сондықтан заманауи университеттегі дене тәрбиесі кафедрасы студенттердің физикалық дайындығын қамтамасыз ететін құрылым ғана емес, тұрақты өмір салты мәдениетін қалыптастыратын және инновациялық қоғамның дамуына ықпал ететін маңызды білім беру орталығы ретінде қарастырылуы тиіс.

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ

«Авторлар мүдделер қақтығысының жоқ екенін мәлімдейді».

АВТОРДЫҢ ҮЛЕСІ

Зерттеудің тұжырымдамасын әзірлеу, материалдарды талдау, нәтижелерді жүйелеу және мақаланы дайындау автор тарапынан жүзеге асырылды. Автор мақаланың соңғы нұсқасын мақұлдады.

ҚАРЖЫЛАНДЫРУ

Зерттеуді қаржыландыру туралы ақпарат ұсынылмаған.

АЛҒЫС

Автор зерттеуді жүргізуге және мақаланы дайындауға үлес қосқан тұлғаларға алғыс білдіреді.

Авторлық құқық © 2026 автор(лар)ға тиесілі. Бұл мақала [Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) (CC BY-SA 4.0) лицензиясы бойынша ашық қолжетімді болып табылады. Лицензия түпнұсқа еңбекке тиісті түрде сілтеме жасалған жағдайда, кез келген ортада пайдалануға, таратуға және қайта жариялауға рұқсат береді. Туынды материалдар осы лицензияның дәл осындай шарттарымен таратылуы тиіс.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- [1] А. И. Шилко, «Инновационные технологии в жизни студентов, школьников и профессиональных спортсменов», Наука-2020, № 6(51), с. 126–130, 2021.
- [2] Л. А. Кудратова, «Развитие инновационного менеджмента в физической культуре и спорте», Наука и образование сегодня, № 4(39), с. 96–97, 2019.
- [3] М. Х. Саидова и А. Б. Абдулоев, «Развитие инновационной деятельности в сфере физической культуры и спорта в Республике Таджикистан», Вестник Таджикского государственного университета права, бизнеса и политики. Серия общественных наук, № 4(73), с. 92–101, 2017.
- [4] М. А. Бабичева и Л. М. Лукьянова, «Об использовании инновационных технологий в физической культуре и спорте», Наука-2020, № 6(51), с. 112–117, 2021.
- [5] Т. Н. Шутова и Л. Б. Андриющенко, «Цифровизация образовательного пространства вуза в сфере физической культуры и спорта», Теория и практика физической культуры, № 9, с. 102–104, 2020.
- [6] О. Н. Карабанова, П. С. Бородулин и М. Ю. Трескин, «Теоретико-методологические основы инновационной деятельности в обучении физической культуре», Проблемы современного педагогического образования, № 62-2, с. 107–110, 2019.
- [7] И. В. Каинков, «Инновационные технологии в физическом воспитании», Наука-2020, № 6(22), с. 52–55, 2018.
- [8] Д. О. Борзенкова и С. А. Москин, «Инновации в физической культуре и спорте», Наука-2020, № 6(51), с. 66–72, 2021.

REFERENCES

- [1] A. I. Shilko, “Innovatsionnye tekhnologii v zhizni studentov, shkol'nikov i professional'nykh sportsmenov” [Innovative Technologies in the Life of Students, Schoolchildren and Professional Athletes], Nauka-2020 [Science-2020], no. 6(51), pp. 126–130, 2021. [2] L. A. Kudratova, “Razvitie innovatsionnogo menedzhmenta v fizicheskoy kul'ture i sporte” [Development of Innovative Management in Physical Culture and Sports], Nauka i obrazovanie segodnya [Science and Education Today], no. 4(39), pp. 96–97, 2019.
- [3] M. Kh. Saidova and A. B. Abduloev, “Razvitie innovatsionnoy deyatel'nosti v sfere fizicheskoy kul'tury i sporta v Respublike Tadjikistan” [Development of Innovative Activities in the Field of Physical Culture and Sports in the Republic of Tajikistan], Vestnik Tadjikskogo gosudarstvennogo universiteta prava, biznesa i politiki. Seriya obshchestvennykh nauk [Bulletin of the Tajik State University of Law, Business and Politics. Social Sciences Series], no. 4(73), pp. 92–101, 2017.
- [4] M. A. Babicheva and L. M. Luk'yanova, “Ob ispol'zovanii innovatsionnykh tekhnologiy v fizicheskoy kul'ture i sporte” [On the Use of Innovative Technologies in Physical Culture and Sports], Nauka-2020 [Science-2020], no. 6(51), pp. 112–117, 2021.
- [5] T. N. Shutova and L. B. Andryushchenko, “Tsifrovizatsiya obrazovatel'nogo prostranstva vuza v sfere fizicheskoy kul'tury i sporta” [Digitalization of the Educational Space of a University in the Field of Physical Culture and Sports], Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury [Theory and Practice of Physical Culture], no. 9, pp. 102–104, 2020.
- [6] O. N. Karabanova, P. S. Borodulin, and M. Yu. Treskin, “Teoretiko-metodologicheskie osnovy innovatsionnoy deyatel'nosti v obuchenii fizicheskoy kul'ture” [Theoretical and Methodological Foundations of Innovative Activity in Physical Education], Problemy sovremennogo pedagogicheskogo obrazovaniya [Problems of Modern Pedagogical Education], no. 62-2, pp. 107–110, 2019.
- [7] I. V. Kainkov, “Innovatsionnye tekhnologii v fizicheskom vospitanii” [Innovative Technologies in Physical Education], Nauka-2020 [Science-2020], no. 6(22), pp. 52–55, 2018. [8] D. O. Borzenkova and S. A. Moskin, “Innovatsii v fizicheskoy kul'ture i sporte” [Innovations in Physical Culture and Sports], Nauka-2020 [Science-2020], no. 6(51), pp. 66–72, 2021.

Химические и фармацевтические технологии. Безопасность жизнедеятельности.

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/151>

STUDY OF THE TECHNOLOGY OF ISOLATION, PURIFICATION, AND THE EFFECT OF RAW MATERIAL PROCESSING METHODS ON THE YIELD OF BETULIN FROM THE BARK OF THE HANGING BIRCH

¹Begaliev Zh. A., ^{1*}Kolesnikov I. V., ¹Almazov A. I.

¹Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan

* Correspondent's E-mail: iv.kolesnikov@tttu.edu.kz

Author information:

Begaliev Zhandos Altynbekugli, Karaganda Industrial University, 101400, Republic Avenue, 30, Temirtau, Karaganda region, Kazakhstan, e-mail: zh.begaliev@tttu.edu.kz

Ilya Vladimirovich Kolesnikov, Karaganda Industrial University, 101400, Republic Avenue, 30, Temirtau, Karaganda region, Kazakhstan, e-mail: iv.kolesnikov@tttu.edu.kz

Almazov Alexander Igorevich, Karaganda Industrial University, 101400, Republic Avenue, 30, Temirtau, Karaganda region, Kazakhstan, e-mail: alex-almazov@mail.ru

Abstract — This paper examines the theoretical and practical aspects of the isolation and purification of betulin, a natural pentacyclic triterpenoid compound with a wide range of biological activity. A comprehensive analysis of literature and patent sources devoted to the chemical properties of betulin, its pharmacological effects and methods of obtaining from plant raw materials has been carried out. Special attention is paid to the characteristics of the raw material base, including birch bark as the main source of betulin, as well as waste from the woodworking industry. Modern extraction methods such as classical extraction with organic solvents, supercritical fluid extraction, ultrasonic and microwave extractions are considered, with an analysis of their advantages and disadvantages. The experimental part implements a laboratory technology for the production of betulin using n-hexane as an extractant, including the stages of raw material preparation, extraction, evaporation, purification by recrystallization and drying. The results obtained confirm the effectiveness of the chosen method and its applicability in laboratory conditions. It is shown that the proposed technology ensures the production of high purity betulin and can serve as the basis for the development of an industrial process.

Keywords — betulin, birch bark, extraction, triterpenoids, biological activity, recrystallization, plant raw materials, pharmaceutical technology, purification.

ОҚШАУЛАУ, ТАЗАРТУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН, СОНДАЙ-АҚ ШИКІЗАТТЫ ӨНДЕУ ӘДІСТЕРІНІҢ ҚАЙЫҢ ҚАБЫҒЫНАН БЕТУЛИННІҢ ШЫҒУЫНА ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

¹Бегалиев Ж. А., ^{1*}Колесников И. В., ¹Алмазов А. И.

¹Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан

* Корреспондент E-mail: iv.kolesnikov@tttu.edu.kz

Авторы туралы ақпарат:

Бегалиев Жандос Алтынбекугли, Қарағанды индустриялық университеті, 101400, Республика даңғылы, 30, Теміртау, Қарағанды облысы, Қазақстан, e-mail: zh.begaliev@tttu.edu.kz

Колесников Илья Владимирович, Қарағанды индустриялық университеті, 101400, Республика даңғылы, 30, Теміртау, Қарағанды облысы, Қазақстан, e-mail: iv.kolesnikov@tttu.edu.kz

Алмазов Александр Игоревич, Қарағанды индустриялық университеті, 101400, Республика даңғылы, 30, Теміртау, Қарағанды облысы, Қазақстан, e-mail: alex-almazov@mail.ru

Абстракт — Бұл жұмыста бетулинді - биологиялық белсенділіктің кең спектріне ие табиғи пентациклді тритерпеноидты қосылысты оқшаулау мен тазартудың теориялық және практикалық аспектілері қарастырылған. Бетулиннің химиялық қасиеттеріне, оның фармакологиялық әсерлеріне және Өсімдік шикізатынан алу әдістеріне арналған әдеби және патенттік көздерге кешенді талдау жүргізілді. Бетулиннің негізгі көзі ретінде қайың қабығын, сондай-ақ ағаш өңдеу өнеркәсібінің қалдықтарын қоса алғанда, шикізат базасын сипаттауға ерекше назар

аударылады. Классикалық органикалық еріткіштерді экстракциялау, суперкритикалық сұйықтық экстракциясы, ультрадыбыстық және микротолқынды экстракциялар сияқты заманауи экстракция әдістері олардың артықшылықтары мен кемшіліктерін талдай отырып қарастырылады. Эксперименттік бөлімде шикізатты дайындау, экстракциялау, буландыру, қайта кристалдандыру және кептіру әдісімен тазарту кезеңдерін қамтитын экстрагент ретінде н-гександы пайдалана отырып, бетулин алудың зертханалық технологиясы іске асырылды. Нәтижелер тандалған әдістің тиімділігін және оның зертханалық жағдайда қолданылуын растайды. Ұсынылған технология бетулиннің жоғары тазалығын қамтамасыз етеді және өнеркәсіптік процесті дамытуға негіз бола алады.

Кілт сөздер — бетулин, қайың қабығы, экстракция, тритерпеноидтар, биологиялық белсенділік, қайта кристалдану, өсімдік шикізаты, фармацевтикалық технология, тазарту.

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЫДЕЛЕНИЯ, ОЧИСТКИ, А ТАКЖЕ ВЛИЯНИЯ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ СЫРЬЯ НА ВЫХОД БЕТУЛИНА ИЗ КОРЫ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ

¹Бегалиев Ж. А., ^{1*}Колесников И. В., ¹Алмазов А. И.

¹Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

* E-mail корреспондента: iv.kolesnikov@ttu.edu.kz

Информация об авторах:

Бегалиев Жандос Алтынбекугли, Karaganda Industrial University, 101400, Republic Avenue, 30, Temirtau, Karaganda region, Kazakhstan, e-mail: zh.begaliev@ttu.edu.kz

Колесников Илья Владимирович, Karaganda Industrial University, 101400, Republic Avenue, 30, Temirtau, Karaganda region, Kazakhstan, e-mail: iv.kolesnikov@ttu.edu.kz

Алмазов Александр Игоревич, Karaganda Industrial University, 101400, Republic Avenue, 30, Temirtau, Karaganda region, Kazakhstan, e-mail: alex-almazov@mail.ru

Аннотация — В настоящей работе рассмотрены теоретические и практические аспекты выделения и очистки бетулина - природного пентациклического тритерпеноидного соединения, обладающего широким спектром биологической активности. Проведен комплексный анализ литературных и патентных источников, посвящённых химическим свойствам бетулина, его фармакологическим эффектам и методам получения из растительного сырья. Особое внимание уделено характеристике сырьевой базы, включая бересту как основной источник бетулина, а также отходы деревообрабатывающей промышленности. Рассмотрены современные методы экстракции, такие как классическая экстракция органическими растворителями, суперкритическая флюидная экстракция, ультразвуковая и микроволновая экстракции, с анализом их преимуществ и недостатков. В экспериментальной части реализована лабораторная технология получения бетулина с использованием н-гексана в качестве экстрагента, включающая стадии подготовки сырья, экстракции, упаривания, очистки методом перекристаллизации и сушки. Полученные результаты подтверждают эффективность выбранного метода и его применимость в лабораторных условиях. Показано, что предложенная технология обеспечивает получение бетулина высокой степени чистоты и может служить основой для разработки промышленного процесса.

Ключевые слова — бетулин, береста, экстракция, тритерпеноиды, биологическая активность, перекристаллизация, растительное сырьё, фармацевтическая технология, очистка.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Проведённое исследование подтвердило, что берёзовая кора является эффективным источником бетулина.

Предварительное щелочное разрушение субериновой матрицы в сочетании с ультразвуковой кавитацией увеличило выход целевого вещества до 24,5%.

Процесс перекристаллизации из этанола позволил избавиться от лупеола и других примесей, обеспечив высокую чистоту продукта.

Применение спектрофотометрического метода обеспечивает высокую чувствительность, воспроизводимость результатов и позволяет эффективно контролировать процесс выделения и очистки бетулина из коры берёзы.

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия наблюдается устойчивый рост интереса к природным биологически активным соединениям, обладающим широким спектром фармакологических свойств. Одним из таких соединений является бетулин — природный

пентациклический тритерпеноид, относящийся к группе лупановых соединений. Он широко распространён в растительном мире, однако наибольшее его содержание отмечается в коре берёзы, особенно в её наружном слое — бересте.

Бетулин привлекает внимание исследователей благодаря своим выраженным биологическим эффектам. Многочисленные исследования показали, что он обладает противовирусной, противоопухолевой, противовоспалительной, гепатопротекторной и антиоксидантной активностью. Эти свойства обусловлены особенностями его химической структуры, способной взаимодействовать с клеточными мембранами, ферментами и рецепторами, влияя на различные биохимические процессы в организме.

Актуальность данной работы обусловлена необходимостью разработки эффективных и экономически целесообразных методов получения бетулина из доступного растительного сырья. В условиях современной промышленности особое значение приобретает переработка отходов деревообрабатывающей промышленности, таких как берёзовая кора, которая часто остаётся невостребованной. Использование данного сырья позволяет не только получать ценные химические соединения, но и снижать экологическую нагрузку.

Целью настоящей работы является исследование технологии выделения и очистки бетулина методом экстракции, а также оценка эффективности выбранного метода в лабораторных условиях.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- анализ литературных данных по свойствам и применению бетулина;
- изучение источников сырья и методов его переработки;
- исследование методов экстракции и очистки;
- проведение экспериментального получения бетулина;
- оценка качества и выхода конечного продукта.

Пробел в исследовании. Несмотря на наличие различных методов выделения бетулина, многие из них характеризуются высокой затратностью, сложностью технологического процесса или использованием токсичных растворителей. В связи с этим требуется поиск оптимальных условий экстракции и очистки, обеспечивающих высокий выход и чистоту продукта.

Существуют различные методы извлечения бетулина, отличающиеся по эффективности и сложности реализации. Каждый из методов имеет свои преимущества и ограничения, однако для лабораторных условий наиболее целесообразным является классический метод.

После экстракции полученный продукт содержит примеси, поэтому требуется его очистка. Наиболее доступным и эффективным методом является перекристаллизация, позволяющая получить продукт высокой степени чистоты.

Научная новизна. Экспериментально установлено, что эффективность технологии зависит от синергетического действия методов подготовки и экстракции.

Для объективной оценки каждого из применяемых подходов нами были проанализированы три ключевых параметра: общая продолжительность процесса, количественный выход бетулина-сырца и финальная степень чистоты продукта после этапа горячей перекристаллизации.

Все испытания проводились с использованием стандартизированных навесок сырья (фракция 1–3 мм), что позволило свести к минимуму статистическую погрешность.

Предварительное щелочное разрушение субериновой матрицы в сочетании с ультразвуковой кавитацией увеличило выход целевого вещества до 24,5%. Процесс перекристаллизации из этанола позволил избавиться от лупеола и других примесей, обеспечив высокую чистоту продукта.

Полученный после сушки целевой продукт представляет собой мелкокристаллический порошок от белого до светло-кремового цвета, не имеющий выраженного запаха. Визуальная оценка подтверждает формирование характерных игольчатых кристаллов, что свидетельствует о высокой степени избавления от аморфных смолистых примесей и липидов.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Бетулин представляет собой органическое соединение с формулой $C_{30}H_{50}O_2$, относящееся к классу тритерпеноидов. Его молекулярная структура включает пентациклическое углеродное ядро, состоящее из четырёх циклогексановых и одного цикlopentanового кольца, а также функциональные группы — гидроксильные и алкеновые.

Химические свойства бетулина обусловлены наличием реакционноспособных функциональных групп. Гидроксильные группы участвуют в реакциях этерификации, ацетилирования и окисления, а двойная связь — в реакциях гидрирования и циклизации. Благодаря этим свойствам бетулин широко используется как исходное вещество для синтеза производных соединений с улучшенными фармакологическими характеристиками.

Биологическая активность бетулина проявляется в различных направлениях:

- Противовирусная активность. Бетулин и его производные способны ингибировать репликацию вирусов, включая вирус иммунодефицита человека, гриппа и герпеса.

- Противоопухолевое действие. Соединение индуцирует апоптоз в опухолевых клетках, нарушая митохондриальные процессы и активируя каспазный каскад.

- Противовоспалительная активность. Бетулин снижает уровень медиаторов воспаления, подавляя активность ферментов и сигнальных путей.

- Гепатопротекторное действие. Он защищает клетки печени от токсических воздействий, снижая уровень окислительного стресса.

- Антиоксидантные свойства. Бетулин эффективно нейтрализует свободные радикалы, предотвращая повреждение клеточных структур.

Таким образом, сочетание химической активности и биологической эффективности делает бетулин перспективным объектом фармацевтических исследований.

Основным источником бетулина является кора берёзы повислой. Его содержание в бересте может достигать 30% и более, что делает данное сырьё наиболее выгодным для промышленного использования.

Помимо бересты, бетулин может быть получен из:

- листьев и почек берёзы;
- коры других лиственных пород;
- отходов деревообрабатывающей промышленности.

Особую ценность представляют именно отходы, такие как кора, опилки и щепа, которые могут служить доступным и дешёвым сырьём. Их переработка способствует рациональному использованию природных ресурсов и развитию экологически ориентированных технологий.

Существуют различные методы извлечения бетулина, отличающиеся по эффективности и сложности реализации.

Классическая экстракция основана на растворении бетулина в органических растворителях. Этот метод является наиболее распространённым благодаря своей простоте и доступности.

Суперкритическая экстракция с использованием CO₂ позволяет получать продукт высокой чистоты без остаточных растворителей, однако требует сложного оборудования.

Ультразвуковая экстракция ускоряет процесс за счёт разрушения клеточных структур.

Микроволновая экстракция обеспечивает быстрый нагрев и высокую эффективность извлечения.

Каждый из методов имеет свои преимущества и ограничения, однако для лабораторных условий наиболее целесообразным является классический метод.

После экстракции полученный продукт содержит примеси, поэтому требуется его очистка. Основными методами являются:

- перекристаллизация;
- хроматография;
- удаление липофильных примесей.

Наиболее доступным и эффективным методом является перекристаллизация, позволяющая получить продукт высокой степени чистоты.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве исходного сырья использовалась наружная кора берёзы повислой. Собранная береста очищалась от луба и высушивалась при температуре 105 °С до постоянной массы. Для увеличения площади контакта фаз сырьё измельчалось на ножевой мельнице до фракции 1–3 мм. Для разрушения суберинового барьера сырьё обрабатывали 2–5% раствором NaOH при 50–60 °С, что вызывало гидролиз суберина и кратно увеличивало пористость тканей. Дополнительно проводилось обезжиривание коры неполярными растворителями для удаления балластных смол. Такой комплексный подход создал оптимальные условия для интенсивной экстракции бетулина.



Рисунок 1 – Измельченная кора березы повислой (фракция 1-3 мм)

Для разрушения суберинового барьера применялась активация сырья: кора обрабатывалась 2–5% раствором гидроксида натрия (NaOH) при 50–60 °С. Это вызывает гидролиз эфирных связей суберина, повышая проницаемость клеточных мембран.

Дополнительно проводилось предварительное обезжиривание сырья легкими неполярными растворителями для удаления балластных смол [5, 6].

Основной процесс выделения бетулина исследовался в нескольких вариациях:

1. Классическая горячая экстракция: сырье заливалось гексаном в трехгорлой колбе с обратным холодильником и нагревалось до кипения (около 69 °С) в течение 3–4 часов при стабильном рефлюксе.

2. Ультразвуковая экстракция: смесь коры и гексана помещалась в УЗ-ванну. Эффект кавитации приводил к микроразрывам клеточных стенок, сокращая время экстракции до 15–30 минут при сопоставимом выходе продукта [7, 8].



Рисунок 2 – Лабораторная установка для экстракции органическими растворителями

Полученный раствор фильтровался и направлялся на упаривание. Для выделения чистого бетулина применялась горячая перекристаллизация. Вязкий концентрат растворяли в кипящем 70–96% этаноле. Нерастворимые смолистые примеси удалялись горячим фильтрованием. Прозрачный фильтрат медленно охлаждали до 5–10 °С, в результате чего бетулин выпадал в осадок. Осадок промывали холодным этанолом и высушивали [9].



Рисунок 3 – Очищенный кристаллический бетулин после перекристаллизации

Определение содержания бетулина проводилось методом спектрофотометрии с использованием сканирующего спектрофотометра в диапазоне длин волн 590–710 нм. Измерения выполнялись в режиме высокой точности (прецизионный режим) при шаге дискретизации 1 нм и ширине спектральной щели 1,0 нм. В качестве аналитического сигнала регистрировалась оптическая плотность раствора.

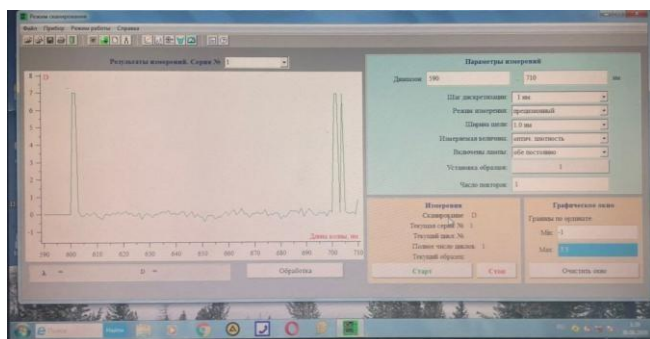


Рисунок 4 – Определение содержания бетулина

Перед началом измерений проводилась калибровка прибора с использованием холостого раствора (растворителя), что позволило исключить фоновое поглощение. Исследуемые образцы,

содержащие бетулин, предварительно подвергались растворению в органическом растворителе с последующей фильтрацией для удаления нерастворимых примесей.

Спектры поглощения регистрировались в заданном диапазоне длин волн, при этом для бетулина характерно наличие максимумов поглощения, позволяющих проводить его качественную и количественную идентификацию. Полученные спектральные данные обрабатывались с использованием встроенного программного обеспечения прибора.

Количественное определение бетулина осуществлялось по градуировочному графику, построенному на основе стандартных растворов известной концентрации. Значения оптической плотности анализируемых проб сопоставлялись с калибровочной зависимостью, что позволило рассчитать содержание целевого вещества в образцах.

А. Этическое одобрение и информированное согласие

Исследование не предусматривало участие людей, использование данных о людях или проведение экспериментов на животных, поэтому этическое одобрение и информированное согласие не требовались.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полученный после сушки целевой продукт представляет собой мелкокристаллический порошок от белого до светло-кремового цвета, не имеющий выраженного запаха. Визуальная оценка подтверждает формирование характерных игольчатых кристаллов, что свидетельствует о высокой степени избавления от аморфных смолистых примесей и липидов. Благодаря своей гидрофобной структуре очищенный бетулин практически нерастворим в воде, однако обладает высокой термической и химической стабильностью, что является критически важным фактором для его дальнейшего использования при создании фармакологических препаратов.

Экспериментально установлено, что эффективность технологии зависит от синергетического действия методов подготовки и экстракции. Для объективной оценки каждого из применяемых подходов нами были проанализированы три ключевых параметра: общая продолжительность процесса, количественный выход бетулина-сырца и финальная степень чистоты продукта после этапа горячей перекристаллизации. Все испытания проводились с

использованием стандартизированных навесок сырья (фракция 1–3 мм), что позволило свести к минимуму статистическую погрешность. Сравнительные данные, наглядно отражающие влияние выбранной технологической схемы на итоговые производственные показатели, представлены в таблице 1.

Таблица 1 — Влияние методов обработки и экстракции на показатели получения бетулина

Методы подготовки сырья	Методы экстракции	Время процесса	Выход бетулина (%)	Степень чистоты продукта (%)
Механическое измельчение	Горячая экстракция (гексан)	4 часа	14,2	78,5
Механическое измельчение	Аппарат Сокслета (этанол)	6 часов	19,8	85,0
Измельчение + щелочная активация	Ультразвуковая (гексан)	30 минут	24,5	96,2

Как видно из таблицы, предварительное щелочное разрушение субериновой матрицы в сочетании с ультразвуковой кавитацией увеличило выход целевого вещества до 24,5%. Процесс перекристаллизации из этанола позволил избавиться от лупеола и других примесей, обеспечив высокую чистоту продукта.

Применение спектрофотометрического метода обеспечивает высокую чувствительность, воспроизводимость результатов и позволяет эффективно

контролировать процесс выделения и очистки бетулина из коры берёзы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование подтвердило, что берёзовая кора является эффективным источником бетулина. Применение классической экстракции с использованием органических растворителей позволяет получать продукт с высокой степенью чистоты при относительно низких затратах.

Разработанная лабораторная технология отличается простотой, доступностью и воспроизводимостью. Она может быть использована в учебных и научных целях, а также служить основой для дальнейшего масштабирования процесса и внедрения в промышленность.

Предварительное щелочное разрушение субериновой матрицы в сочетании с ультразвуковой кавитацией увеличило выход целевого вещества до 24,5%. Процесс перекристаллизации из этанола позволил избавиться от лупеола и других примесей, обеспечив высокую чистоту продукта.

Перспективным направлением дальнейших исследований является оптимизация условий экстракции, поиск экологически безопасных растворителей и разработка комбинированных методов очистки.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторское право © 2026 принадлежит автору(ам).

Данная статья распространяется на условиях открытого доступа в соответствии с лицензией [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) (CC BY-SA 4.0). Лицензия разрешает свободное использование, распространение и воспроизведение в любой форме при условии обязательного указания авторства и сохранения той же лицензии для производных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Атлас лекарственных растений Казахстана. – Алматы: Гылым, 2019. – 368 с.
- [2] Гилманов К.М. Тритерпеноиды растений: химия, биосинтез, биологическая активность. – Казань: Казанский университет, 2017. – 284 с.
- [3] Жумабаева А.С., Сейтметов Ж.К. Методы экстракции биологически активных веществ из растительного сырья. – Алматы: Бастау, 2020. – 192 с.
- [4] Прокофьев И.В. Фитохимические методы анализа природных соединений. – Москва: Бином, 2018. – 412 с.
- [5] Корнилов В.А., Лаврова И.А. Технология переработки растительного сырья. – СПб: Лань, 2016. – 368 с.

- [6] Евдокимов И.В. Фармацевтическая химия природных соединений. – Томск: ТГУ, 2022. – 256 с.
- [7] Калачев А.Г. Лабораторный практикум по технологии фармацевтических производств. – Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2018. – 176 с.
- [8] Беляев А.Н., Куанышев Д.А. Получение тритерпеноидов из природных источников: современные подходы. Химия растительного сырья. – 2021. – №4. – С. 45–56.
- [9] ГОСТ 24027.2–80. Сырьё растительное. Методы определения экстрактивных веществ.
- [10] Pezzuto J.M. Pentacyclic triterpenoids from medicinal plants: biological activities and therapeutic potential. *Phytochemistry Reviews*. – 2017. – Vol. 16. – P. 235–260.
- [11] Rastogi S., Pandey M.M. Betulin and betulinic acid: pharmacological aspects and therapeutic potential. *Journal of Ethnopharmacology*. – 2019. – Vol. 243. – P. 112–204.
- [12] Fulda S. Betulinic acid for cancer treatment and prevention. *International Journal of Molecular Sciences*. – 2008. – Vol. 9. – P. 1096–1107.
- [13] Yogeeswari P., Sriram D. Betulinic acid and its derivatives: a review on their biological properties. *Current Medicinal Chemistry*. – 2005. – Vol. 12. – P. 657–666.
- [14] Dzubak P. et al. Pharmacological activities of natural triterpenoids and their therapeutic implications. *Natural Product Reports*. – 2006. – Vol. 23. – P. 394–411.
- [15] Alakurtti S. et al. Pharmacological properties of the ubiquitous natural product betulin. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*. – 2006. – Vol. 29. – P. 1–13.
- [16] Csuk R., Kluge R. Synthesis and biological evaluation of betulin derivatives. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*. – 2014. – Vol. 22. – P. 135–147.
- [17] Khan M.T. Supercritical CO₂ extraction of natural compounds: theory and applications. *Journal of Supercritical Fluids*. – 2020. – Vol. 165. – P. 104–187.
- [18] Reverchon E., De Marco I. Supercritical fluid extraction and fractionation of natural matter. *Journal of Supercritical Fluids*. – 2006. – Vol. 38. – P. 146–166.
- [19] Chemat F., Vian M.A. Microwave-assisted extraction for bioactive compounds. *International Journal of Molecular Sciences*. – 2014. – Vol. 15. – P. 113–124.
- [20] Vinatoru M. Ultrasonically assisted extraction of bioactive principles from plants. *Ultrasonics Sonochemistry*. – 2001. – Vol. 8. – P. 303–313.
- [21] Patent RU 2712345 C1, 2019. Способ экстракции бетулина из бересты.
- [22] Patent US 6342554 B1, 2002. Method for extraction and purification of betulin from birch bark.
- [23] Patent CN 102345678 A, 2012. Extraction method of betulin using ethanol.
- [24] Manayi A., Saeidnia S. Betulin and betulinic acid: highly promising compounds from birch bark. *Journal of Herbal Medicine*. – 2016. – Vol. 10. – P. 24–30.
- [25] Ekman R. The suberin monomers and triterpenoids from outer bark of *Betula* species. *Holzforschung*. – 1983. – Vol. 37. – P. 205–211.
- [26] Patočka J. Biologically active pentacyclic triterpenes and their current medicine significance. *Journal of Applied Biomedicine*. – 2003. – Vol. 1. – P. 7–12.

REFERENCES

- [1] Atlas lekarstvennykh rasteniy Kazakhstana [Atlas of Medicinal Plants of Kazakhstan]. – Almaty: Gylym, 2019. – 368 p.
- [2] Gilmanov K.M. Triterpenoidy rasteniy: khimiya, biosintez, biologicheskaya aktivnost' [Plant Triterpenoids: Chemistry, Biosynthesis, Biological Activity]. – Kazan: Kazanskiy universitet, 2017. – 284 p.
- [3] Zhumabaeva A.S., Seytmetov Zh.K. Metody ekstratsii biologicheskii aktivnykh veshchestv iz rastitel'nogo syr'ya [Methods for Extraction of Biologically Active Substances from Plant Raw Materials]. – Almaty: Bastau, 2020. – 192 p.
- [4] Prokofev I.V. Fitokhimicheskie metody analiza prirodnkh soedineniy [Phytochemical Methods for Analysis of Natural Compounds]. – Moscow: Binom, 2018. – 412 p.
- [5] Kornilov V.A., Lavrova I.A. Tekhnologiya pererabotki rastitel'nogo syr'ya [Technology of Plant Raw Material Processing]. – Saint Petersburg: Lan', 2016. – 368 p.
- [6] Evdokimov I.V. Farmatsevticheskaya khimiya prirodnkh soedineniy [Pharmaceutical Chemistry of Natural Compounds]. – Tomsk: TGU, 2022. – 256 p.
- [7] Kalachev A.G. Laboratornyy praktikum po tekhnologii farmatsevticheskikh proizvodstv [Laboratory Workshop on Pharmaceutical Production Technology]. – Moscow: GEOTAR-Media, 2018. – 176 p.
- [8] Belyaev A.N., Kuanyshiev D.A. Poluchenie triterpenoidov iz prirodnkh istochnikov: sovremennye podkhody [Obtaining Triterpenoids from Natural Sources: Modern Approaches]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Material]. – 2021. – No. 4. – P. 45–56.
- [9] GOST 24027.2–80. Syr'e rastitel'noe. Metody opredeleniya ekstraktivnykh veshchestv [Plant Raw Material. Methods for Determination of Extractive Substances].

- [10] Pezzuto J.M. Pentacyclic triterpenoids from medicinal plants: biological activities and therapeutic potential. *Phytochemistry Reviews*. – 2017. – Vol. 16. – P. 235–260.
- [11] Rastogi S., Pandey M.M. Betulin and betulinic acid: pharmacological aspects and therapeutic potential. *Journal of Ethnopharmacology*. – 2019. – Vol. 243. – P. 112–204.
- [12] Fulda S. Betulinic acid for cancer treatment and prevention. *International Journal of Molecular Sciences*. – 2008. – Vol. 9. – P. 1096–1107.
- [13] Yogeeswari P., Sriram D. Betulinic acid and its derivatives: a review on their biological properties. *Current Medicinal Chemistry*. – 2005. – Vol. 12. – P. 657–666.
- [14] Dzuba P. et al. Pharmacological activities of natural triterpenoids and their therapeutic implications. *Natural Product Reports*. – 2006. – Vol. 23. – P. 394–411.
- [15] Alakurti S. et al. Pharmacological properties of the ubiquitous natural product betulin. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*. – 2006. – Vol. 29. – P. 1–13.
- [16] Csuk R., Kluge R. Synthesis and biological evaluation of betulin derivatives. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*. – 2014. – Vol. 22. – P. 135–147.
- [17] Khan M.T. Supercritical CO₂ extraction of natural compounds: theory and applications. *Journal of Supercritical Fluids*. – 2020. – Vol. 165. – P. 104–187.
- [18] Reverchon E., De Marco I. Supercritical fluid extraction and fractionation of natural matter. *Journal of Supercritical Fluids*. – 2006. – Vol. 38. – P. 146–166.
- [19] Chemat F., Vian M.A. Microwave-assisted extraction for bioactive compounds. *International Journal of Molecular Sciences*. – 2014. – Vol. 15. – P. 113–124.
- [20] Vinatoru M. Ultrasonically assisted extraction of bioactive principles from plants. *Ultrasonics Sonochemistry*. – 2001. – Vol. 8. – P. 303–313.
- [21] Patent RU 2712345 C1, 2019. Sposob ekstraksii betulina iz beresty [Method for Extraction of Betulin from Birch Bark].
- [22] Patent US 6342554 B1, 2002. Method for extraction and purification of betulin from birch bark.
- [23] Patent CN 102345678 A, 2012. Extraction method of betulin using ethanol.
- [24] Manayi A., Saeidnia S. Betulin and betulinic acid: highly promising compounds from birch bark. *Journal of Herbal Medicine*. – 2016. – Vol. 10. – P. 24–30.
- [25] Ekman R. The suberin monomers and triterpenoids from outer bark of *Betula* species. *Holzforschung*. – 1983. – Vol. 37. – P. 205–211.
- [26] Patočka J. Biologically active pentacyclic triterpenes and their current medicine significance. *Journal of Applied Biomedicine*. – 2003. – Vol. 1. – P. 7–12.

Химические и фармацевтические технологии. Безопасность жизнедеятельности.DOI: <https://www.doi.org/10.53002/149>**DEVELOPMENT OF FORMULATIONS AND PRODUCTION TECHNOLOGY FOR HERBAL COUGH SYRUPS**¹*Mantler S.N., ¹Kurtukova A.E.¹Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan*Correspondent's E-mail: s.mantler@tttu.edu.kz**Author information:****Mantler Svetlana Nikolaevna**, Karaganda Industrial University, 101400, Republic Avenue, 30, Temirtau, Karaganda Region, Kazakhstan, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5779-3756>, e-mail: s.mantler@tttu.edu.kz**Anna Evgenyevna Kurtukova**, NAO "Karaganda Industrial University", 101400, Republic Avenue, 30, Temirtau, Karaganda Region, Kazakhstan, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5896-3575>, e-mail: a.kurtukova@tttu.edu.kz

Abstract — The study aim was to develop and evaluate experimental formulations of herbal syrups for the cough symptomatic treatment. The novelty lies in the selection of a combined composition of plant extracts with synergistic expectorant and anti-inflammatory effects and improved organoleptic properties. This study examines theoretical and practical aspects of herbal syrup development, analyzes literature and patents on the principles of comprehensive cough treatment. Syrups are characterized as dosage forms, and analyzes pharmacological properties of medicinal plant materials as components of cough syrups. Particular attention is paid to select optimal combinations of plant extracts that provide synergistic expectorant, mucolytic, anti-inflammatory, and enveloping effects. Two pilot formulations of phyto-syrups were developed – “Bronchoterra” and “Bronchoterra-razz” – based on aqueous extracts of licorice root, thyme herb, elecampane root, plantain leaves, rose hips with the addition of natural honey, raspberry syrup and ascorbic acid. A laboratory technology for obtaining phyto-syrups based on plant extracts was developed. The samples were evaluated according to 6 organoleptic parameters (appearance, color, smell, taste, aftertaste, consistency), its pH value, density, and dry residue were determined. For obtaining “Bronchoterra-razz” sample, a material balance was calculated. The technological yield from the total materials was about 68%, which is typical for laboratory conditions with non-optimized filtration. At industrial scale, yields can be increased to 85–90% by reducing process losses during aqueous extracts manufacturing. The original formulations have been shown to yield stable syrup samples with high consumer acceptability, which can serve as the basis for further scale-up.

Keywords — herbal syrup, cough, licorice, thyme, elecampane, plantain, rose hips, expectorant, production technology, standardization.

ЖӨТЕЛ ФИТО-СИРОПЫНЫҢ РЕЦЕПТІН ЖӘНЕ ӨНДІРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ӘЗІРЛЕУ¹*Мантлер С.Н., ¹Куртукова А.Е.¹Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан*Корреспондент E-mail: s.mantler@tttu.edu.kz**Авторлар туралы ақпарат:****Мантлер Светлана Николаевна**, Қарағанды индустриялық университеті, 101400, Республика даңғылы, 30, Теміртау, Қарағанды облысы, Қазақстан, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5779-3756>, e-mail: s.mantler@tttu.edu.kz**Куртукова Анна Евгеньевна**, Қарағанды индустриялық университеті, 101400, Республика даңғылы, 30, Теміртау, Қарағанды облысы, Қазақстан, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5896-3575>, e-mail: a.kurtukova@tttu.edu.kz

Абстракт — Бұл зерттеудің мақсаты жөтелді симптоматикалық емдеуге арналған фитосироптардың тәжірибелік рецептураларын әзірлеу және бағалау болды. Жұмыстың ғылыми жаңалығы қақырық түсіретін, муколитикалық, қабынуға қарсы және шырышты қабықты қорғайтын әсерлері бар өсімдік сығындыларының тиімді үйлесімдерін таңдауда, сондай-ақ органолептикалық қасиеттері жақсартылған фитосироп рецептураларын ұсынууда көрініс тапты. Зерттеу барысында фитосироптарды әзірлеудің теориялық және практикалық аспектілері қарастырылып, жөтелді

кешенді емдеу қағидаттарына арналған әдеби және патенттік дереккөздер талданды. Сонымен қатар, сироптардың дәрілік түр ретіндегі ерекшеліктері және жетелге қарсы сироптардың құрамдас бөліктері ретінде пайдаланылатын дәрілік өсімдік шикізатының (мия тамыры, тимьян шөбі, андыз тамыры, жолжелкен жапырақтары, итмұрын жемістері) фармакологиялық қасиеттері зерттелді. Зерттеу нәтижесінде мия тамырының, тимьян шөбінің, андыз тамырының, жолжелкен жапырақтарының және итмұрын жемістерінің сулы сығындылары негізінде табиғи бал, таңқурай шәрбаты және аскорбин қышқылы қосылған «Bronchoterra» және «Bronchoterra-razz» атты екі тәжірибелік фитосироп рецептурасы әзірленді. Өсімдік сығындылары негізіндегі фитосироптарды алудың зертханалық технологиясы жасалды. Алынған үлгілер сыртқы түрі, түсі, иісі, дәмі, кейінгі дәмі және консистенциясы бойынша органолептикалық бағалаудан өтті. Сонымен қатар олардың рН көрсеткіші, тығыздығы және құрғақ қалдық мөлшері анықталды. «Bronchoterra-razz» үлгісінің материалдық балансы есептелді. Дайын өнімнің технологиялық шығымы шамамен 68% құрады, бұл зертханалық жағдайда сүзгілеу үдерісінің толық оңтайландырылмауына байланысты болды. Өнеркәсіптік масштабтау кезінде технологиялық шығындарды азайту және өсімдік шикізатынан сулы сығындыларды алу үдерісін жетілдіру арқылы шығымды 85–90%-ға дейін арттыру мүмкін екені көрсетілді. Зерттеу нәтижелері ұсынылған фитосироп рецептураларының тұрақты әрі тұтынушылық қасиеттері жоғары өнім алуға мүмкіндік беретінін көрсетті. Ұсынылған рецептуралар фитосироптарды одан әрі жетілдіру мен өнеркәсіптік масштабтауға негіз бола алады.

Кілт сөздер — шөп шәрбаты, жетел шәрбаты, мия тамыры, тимьян, элекампан, жолжелкен, итмұрын, қақырық түсіретін дәрі, өндіріс технологиясы, стандарттау.

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ФИТОСИРОПОВ ОТ КАШЛЯ

¹*Мантлер С.Н., ¹Куртукова А.Е.

¹Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

*E-mail корреспондента: s.mantler@tttu.edu.kz

Информация об авторах:

Мантлер Светлана Николаевна, Карагандинский индустриальный университет, 101400, проспект Республики, 30, Темиртау, Карагандинская область, Казахстан, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5779-3756>, e-mail: s.mantler@tttu.edu.kz

Куртукова Анна Евгеньевна, Карагандинский индустриальный университет, 101400, проспект Республики, 30, Темиртау, Карагандинская область, Казахстан, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5896-3575>, e-mail: a.kurtukova@tttu.edu.kz

Аннотация — Целью работы являлась разработка и оценка опытных рецептур фито-сиропов для симптоматической терапии кашля. Новизна работы заключается в подборе комбинированной композиции растительных экстрактов с синергетическим отхаркивающим и противовоспалительным действием и с улучшенными органолептическими характеристиками. В работе рассмотрены теоретические и практические аспекты разработки фито-сиропов, проведён анализ литературных и патентных источников, посвящённых принципам комплексного лечения кашля, характеристикам сиропов как лекарственной формы, а также анализу фармакологических свойств лекарственного растительного сырья как компонентов сиропов от кашля. Особое внимание уделено выбору оптимальных комбинаций растительных экстрактов, обеспечивающих синергизм отхаркивающего, муколитического, противовоспалительного и обволакивающего действия. Разработаны две опытные рецептуры фито-сиропов – «Bronchoterra» и «Bronchoterra-razz» – на основе водных извлечений из корня солодки, травы чабреца, корня девясила, листьев подорожника, плодов шиповника с добавлением натурального мёда, малинового сиропа и аскорбиновой кислоты. Разработана лабораторная технология получения фито-сиропов на основе растительных экстрактов. Проведена органолептическая оценка образцов по 6 показателям (внешний вид, цвет, запах, вкус, послевкусие, консистенция), определены их показатель pH, плотность и сухой остаток. Рассчитан материальный баланс процесса получения образца «Bronchoterra-razz». Технологический выход от суммы всего сырья составил около 68%, что типично для лабораторных условий при неоптимизированной фильтрации. При промышленном масштабировании выход может быть увеличен до 85–90% за счет снижения технологических потерь на стадиях получения водных извлечений. Предложенные оригинальные рецептуры обеспечивают получение стабильных образцов сиропов с высокой потребительской приемлемостью, которые могут служить основой для дальнейшего масштабирования.

Ключевые слова — фито-сироп, кашель, солодка, чабрец, девясил, подорожник, шиповник, отхаркивающее средство, технология производства, стандартизация.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В результате проведённой работы решены задачи по разработке технологии получения фитосиропа от кашля на основе растительных компонентов.

Разработаны две рецептуры с рабочим названием «Bronchoterra» и «Bronchoterra-razz», отличающиеся органолептическим профилем и направленностью действия.

Результаты расчета материального баланса показали, что лабораторный выход готового сиропа составляет около 68%, имеется возможность его увеличения при оптимизации фильтрации и использовании рекуперации.

Разработанные фито-сиропы могут использоваться в качестве доступных, безопасных и эффективных средств для симптоматической терапии кашля в педиатрической и взрослой практике.

ВВЕДЕНИЕ

Кашель является одним из наиболее частых симптомов заболеваний респираторного тракта, значительно ухудшающих качество жизни пациентов. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, острые респираторные инфекции занимают ведущее место в структуре общей заболеваемости, при этом более 80% случаев сопровождаются кашлем. В педиатрической практике проблема усугубляется ограничениями на применение многих синтетических противокашлевых средств, что делает препараты на растительной основе предпочтительными. Физиологически кашель является защитным рефлексом, направленным на очищение дыхательных путей от слизи, инородных частиц или патогенов. В зависимости от его характера выделяют сухой (непродуктивный) и влажный (продуктивный) кашель, стратегия терапии которых различна. При сухом кашле показаны средства, подавляющие кашлевой рефлекс (антитуссивы) и обволакивающие препараты, а при влажном кашле необходимы муколитики и отхаркивающие средства, облегчающие выведение мокроты. При этом растительные препараты занимают важное место в обеих стратегиях лечения благодаря комбинированному действию.

Экстракты солодки, тимьяна, плюща, подорожника, алтея содержат сапонины, флавоноиды, полисахариды, которые стимулируют

секрецию бронхиальных желёз, разжижают мокроту, улучшают мукоцилиарный клиренс и одновременно оказывают противовоспалительное и успокаивающее действие на слизистую оболочку. Клинические исследования подтверждают, что сиропы на основе экстрактов этих растений не уступают синтетическим муколитикам по эффективности и обладают более благоприятным профилем безопасности, что позволяет использовать их у детей с 1–2 лет.

В связи с этим целью настоящей работы являлась разработка технологии получения фитосиропа от кашля на основе комбинации лекарственного растительного сырья с обоснованием состава, оптимизацией параметров экстракции и оценкой качества готового продукта.

Пробел в исследовании. Несмотря на потенциальную эффективность, растительные лекарственные препараты подвергаются широкой критике из-за отсутствия стандартизации [22]. Поэтому особые требования предъявляются к оценке качества полученной лекарственной формы. При этом разработка собственных рецептов с использованием местного растительного сырья является актуальной задачей. Классическая технология изготовления сиропов - растворение сахара в вытяжках из высушенного лекарственного растительного сырья [19-21]. Она обычно включает стадии приготовления водных настоев или спиртовых вытяжек, компаудирования и уваривания. После получения образцов фито-сиропов проводятся оценочные тесты данных показателей качества (цвет, запах, вкус, послевкусие, показатель pH, вязкость) согласно стандартным методикам [1, 23].

Научная новизна. На основе анализа компонентных составов существующих растительных фито-сиропов и фармакологических свойств ЛРС были предложены две потенциально эффективные рецептуры с хорошими органолептическими свойствами. Экспериментально подтверждена технологическая воспроизводимость: стадии экстракции, уваривания, компаундирования и розлива не вызывают затруднений. На основе лабораторных исследований определены критические точки контроля при производстве фито-сиропа. Технологический выход готового продукта от суммы всех загруженных материалов составил $\sim 96/140=68\%$, что типично для лабораторных условий при неоптимизированной фильтрации. Разработанная технология может быть

масштабирована для мелкосерийного или промышленного производства с сохранением качества при условии соблюдения режимов.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Среди пероральных лекарственных форм сиропы занимают особое место благодаря удобству дозирования, высокой приверженности пациентов (особенно детей и пожилых), способности маскировать неприятный вкус и пролонгировать действие активных компонентов. Согласно Государственной фармакопее, сироп относится к жидким лекарственным формам и представляет собой насыщенный водный раствор сахарозы (или её заменителей), содержащий растворённые лекарственные вещества, растительные экстракты и биологически активные добавки [1, 2]. Высокая концентрация сахарозы в них (как правило, не менее 64% по массе), создаёт осмотический барьер, подавляющий рост микроорганизмов, что позволяет обходиться без синтетических консервантов и обеспечивает стабильность при хранении [3].

Растительные сиропы от кашля привлекают всё большее внимание благодаря мягкому, многоцелевому действию: они сочетают отхаркивающие, муколитические, противовоспалительные, антисептические и обволакивающие свойства [4-7]. Примерами таких сиропов являются «Стодаль» [8], «Эвкабап» [9], «Лазолван» [10]. В Казахстане зарегистрированы такие препараты, как «Гербион» (сироп на основе экстракта подорожника), «Проспан» (сироп на основе экстракта плюща), «Бронхипрет» (сироп на основе экстрактов тимьяна и плюща), что свидетельствует о востребованности данной группы.

При этом разработка собственных рецептов с использованием местного растительного сырья является актуальной задачей. На основании проведенного литературнопатентного поиска в качестве перспективных лекарственных растений, произрастающих в Казахстане, были отобраны солодка голая, чабрец, девясил высокий, подорожник большой, шиповник. Все они активно используются в рецептах лекарственных средств для лечения кашля в официальной и народной медицине [7, 11].

Солодка голая (*Glycyrrhiza glabra*) – корни содержат тритерпеновый сапонин глицирризин (до 23%), флавоноиды, полисахариды. Глицирризин оказывает отхаркивающее действие за счёт стимуляции реснитчатого эпителия и усиления

секреции бронхиальных желёз, а также противовоспалительный эффект (подавление циклооксигеназы). Солодка часто входит в состав комбинированных отхаркивающих средств [12].

Чабрец (*Thymus vulgaris*) – трава содержит эфирное масло (тимол, карвакрол, цимол), флавоноиды, дубильные вещества. Тимол и карвакрол обладают выраженной антимикробной и муколитической активностью, разжижают мокроту, уменьшают вязкость бронхиального секрета. Чабрец традиционно используется при коклюше, бронхитах, трахеитах [13,14].

Девясил высокий (*Inula helenium*) – корневища и корни содержат эфирное масло (алантолактон, изоалантолактон), инулин (до 44%), сапонины. Сесквитерпеновые лактоны оказывают бронхолитическое, отхаркивающее и противомикробное действие, особенно эффективны при затяжных кашлях с трудноотделяемой мокротой [15].

Подорожник большой (*Plantago major*) – листья богаты полисахаридными слизями (арабиногалактан, пектин), иридоидным гликозидом аукубином, флавоноидами. Слизь образует защитную плёнку на слизистой оболочке глотки и бронхов, уменьшая раздражение и подавляя кашлевой рефлекс. Обладают также умеренным отхаркивающим и антибактериальным действием [16].

Шиповник (*Rosa cinnamomea*) – плоды являются рекордсменом по содержанию аскорбиновой кислоты (до 5%), а также содержат каротиноиды, флавоноиды, пектины. В контексте сиропа от кашля шиповник выполняет роль иммуномодулятора, антиоксиданта и источника витамина С, который укрепляет сосудистую стенку и ускоряет регенерацию слизистых. Органические кислоты шиповника также служат естественными коррегентами вкуса [17].

Оптимизация органолептических свойств и стабильности сиропа в его состав вводят корректоры вкуса и антиоксиданты - малину, мед и витамин С [18].

Как показывает исследование, лечение травами эффективно и достаточно широко распространено. Фито-сиропы остаются популярной лекарственной формой для лечения кашля и простуды (особенно у детей), поскольку травяные препараты имеют меньше побочных эффектов или не имеют их вовсе. Они более доступны, чем лекарства, отпускаемые по рецепту.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для получения фито-сиропов использовались следующие материалы: вода очищенная, сахароза, мед натуральный, сироп малины, витамин С. В качестве терапевтических компонентов были отобраны пять основных видов лекарственного растительного сырья (ЛРС), известных своими респираторными эффектами и включённых в Государственную фармакопею РК – солодка голая, чабрец, девясил высокий, подорожник большой и шиповник (плоды).

Для получения экспериментальных образцов фито-сиропа использовались методы горячей водной экстракции, фильтрования, компаудирования и уваривания. В ходе эксперимента использовалась лабораторная стеклянная посуда (химические стаканы, воронки, конические колбы, пикнометры и т.п.). Фасовка образцов проводилась в стеклянные флаконы с крышкой, снабженные этикеткой. Хранение образцов осуществлялось в холодильнике при температуре плюс 6-10 °С.

Взвешивание компонентов проводили на аналитических весах RadWag AS 220.R2, определение технических масс на весах Shimadzu BL 3205.

А. Этическое одобрение и информированное согласие.

Исследования с участием людей или животных, а также с использованием данных о людях не проводились.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для сравнительного анализа было решено приготовить два образца фито-сиропов.

Разработка рецептов образцов.

На основе анализа компонентных составов существующих растительных фито-сиропов и фармакологических свойств ЛРС были предложены две потенциально эффективные рецептуры с хорошими органолептическими свойствами. Компоненты и их количественное содержание приведены в таблице 1.

Компоненты рецептуры №1 (рис. 1) ориентированы на сильное отхаркивающее действие с травяным вкусом, а компоненты рецептуры №2 (рис. 2) – на более мягкое обволакивающее и приятное ягодно-травяное восприятие.

Таблица 1 – Состав опытных образцов фито-сиропов (в г)

Компонент	№ 1	№ 2
Сахароза	54,0	54,0
Аскорбиновая кислота	1,0	1,0
Настой корня солодки	14,0	12,0
Настой плодов шиповника	10,0	12,0
Настой травы чабреца	10,0	–
Настой корня девясила	3,0	–
Мёд натуральный	8,0	–
Настой листьев подорожника	–	13,0
Малиновый сироп	–	8,0
Итого	100	100



Рисунок 1 - Исходные компоненты для рецептуры №1 «Bronchoterra»



Рисунок 2 - Исходные компоненты для рецептуры №2 «Bronchoterra-razz»

Для изготовления обоих фито-сиропов использовалась классическая технология [Краснюк 2018, Panda 2023], которая включала следующие стадии:

1. Подготовка сырья: растительное сырьё измельчали до фракции 3–5 мм, отвешивали по рецептуре.

2. Получение водных извлечений: сырьё заливали дистиллированной водой (соотношение 1:10–1:20) и выдерживали на водяной бане при 80–

90 °С в течение 30–40 минут. Затем экстракты охлаждали до комнатной температуры и фильтровали через бумажный фильтр.

3. Приготовление сиропной основы: к отмеренному количеству сахара последовательно добавляли фильтрованные водные извлечения (для каждой рецептуры согласно таблице 1). Смесь нагревали при перемешивании на плитке до растворения сахара (5–10 минут), затем уваривали в течение 10-15 минут для получения требуемой консистенции сиропа. Образующуюся пену периодически удаляли.

4. Охлаждение и введение вспомогательных веществ: сиропную массу охлаждали до 40–45 °С, затем вводили аскорбиновую кислоту, мёд (для рецептуры №1) или малиновый сироп (для рецептуры №2). Смесь тщательно перемешивали до гомогенного состояния.

5. Розлив и укупорка: готовый сироп разливали в стерильные стеклянные флаконы ёмкостью 100 мл, укупоривали полиэтиленовыми крышками и маркировали.

Расчет материального баланса процесса получения одного из фито-сиропов представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Материальный баланс получения фитосиропа ««Bronchoterra-razz»»

Приход		Расход	
Наименование	г	Наименование	г
<i>Стадия приготовления водных экстрактов</i>			
А) Экстракт шиповника			
Плоды шиповника	3	Настой шиповника	12
Вода очищенная	24	Шрот	9
		Потери	6
Итого	27	Итого	27
Б) Экстракт солодки			
Корень солодки	3	Настой солодки	12
Вода очищенная	21	Шрот	4,5
		Потери	7,5
Итого	24	Итого	24
В) Экстракт подорожника			
Лист подорожника	2	Настой подорожника	13
Вода очищенная	24	Шрот	5
		Потери	8
Итого	26	Итого	26
<i>Стадия компаудирования и уваривания</i>			

Сахар-песок	54	Сироп №2	96
Экстракты		Потери	3
- шиповника -	12		
солодки	12		
- подорожника	13		
Витамин С	1		
Малиновый сироп	8		
Итого	100	Итого	100

Технологический выход готового продукта от суммы всех загруженных материалов составил $\sim 96/140=68\%$, что типично для лабораторных условий при неоптимизированной фильтрации. При промышленном масштабировании выход может быть увеличен до 85–90% за счёт рекуперации шрота и снижения потерь в процессе получения водных извлечений растительного сырья.

В результате эксперимента были получены два образца фито-сиропов (рис. 3). Сравнительная органолептическая оценка этих образцов проводилась по 6 показателям (1 - внешний вид, 2 – цвет, 3 – запах, 4 – вкус, 5 – послевкусие, 6 – консистенция). Результаты оценки представлены в таблице 4.

Дегустационная оценка по 5-балльной шкале (приемлемость) составила образец №1 – 4,8 балла; образец №2 – 5,0 баллов.



Рисунок 3 – Образцы фито-сиропов от кашля

Таблица 4 – Органолептическая характеристика образцов фито-сиропов

№	Образец №1 «Bronchoterra»	Образец №2 «Bronchoterra-razz»
1	Прозрачная вязкая жидкость	Прозрачная вязкая жидкость
2	Янтарнокоричневый	Коричневый с рубиновым оттенком

3	Травяномедовый, мягкий	Фруктово-травяной, малиновый
4	Сладкий с лёгкой травяной нотой	Сладкий, ягодный, без горечи
5	Короткое медовотравяное	Мягкое, малиновое
6	Умеренно вязкая	Вязкая, сиропобразная

Для образцов определяли также следующие физико-химические и микробиологические параметры:

- показатель pH (определено 4,2–4,5, что соответствует кислой среде, обеспечивающей стабильность аскорбиновой кислоты и подавление микрофлоры);
- плотность (определено 1,30–1,33 г/см³, что соответствует 64–66% сахарозы);
- сухой остаток (получено 69–71%).

Микробиологический контроль показал отсутствие патогенных микроорганизмов (*Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Salmonella*) при хранении в течение 4 недель в прохладном месте. На основании этого сделан вывод, что благодаря высокой осмолярности и pH образцов фито-сиропов около 4,5 дополнительный синтетический консервант не требуется.

На основе лабораторных исследований определены критические точки контроля при производстве фито-сиропа:

- качество исходного сырья (идентификация, содержание действующих веществ по фармакопее);
- температура и продолжительность экстракции (не выше 90 °С для сохранения термолабильных соединений);
- концентрация сахарозы (в пределах 64–66 % после уваривания);
- показатель pH готового сиропа (оптимально 4,0–4,5);
- микробиологическая чистота (особенно при использовании мёда и натуральных сиропов).

Разработанная технология может быть масштабирована для мелкосерийного или промышленного производства с сохранением качества при условии соблюдения режимов. Для мелкосерийного производства рекомендуется следующее оборудование:

- экстрактор с паровой рубашкой и мешалкой (объём 100–500 л);
- нутч-фильтр или фильтр-пресс для отделения шрота;
- варочный котёл с якорной мешалкой для сахарного сиропа;
- гомогенизатор высокого давления;
- теплообменник для пастеризации (80–85 °С в течение 30 с);
- автоматическая линия розлива во флаконы с контролем уровня наполнения и укупорки

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённой работы решены задачи по разработке технологии получения фитосиропа от кашля на основе растительных компонентов. Анализ литературных данных позволил обосновать выбор лекарственного растительного сырья (корень солодки, трава чабреца, корень девясила, листья подорожника, плоды шиповника) и вспомогательных веществ (сахароза, мёд, малиновый сироп, аскорбиновая кислота) для изготовления образцов сиропов.

Разработаны две рецептуры с рабочим названием «Bronchoterra» и «Bronchoterra-razz», отличающиеся органолептическим профилем и направленностью действия. Первая характеризуется выраженным отхаркивающим эффектом и травяным вкусом, вторая – более мягким обволакивающим действием и приятными ягодными нотами. Экспериментально подтверждена технологическая воспроизводимость: стадии экстракции, уваривания, компаундирования и розлива не вызывают затруднений. Полученные образцы стабильны при хранении в прохладном месте в течение не менее 4 недель. Физикохимические и микробиологические показатели соответствуют требованиям Государственной фармакопеи РК к жидким лекарственным формам.

Результаты расчета материального баланса показали, что лабораторный выход готового сиропа составляет около 68%, имеется возможность его увеличения при оптимизации фильтрации и использовании рекуперации.

Разработанные фито-сиропа могут использоваться в качестве доступных, безопасных и эффективных средств для симптоматической терапии кашля в педиатрической и взрослой практике.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются проведение количественного определения маркёрных веществ

(глицирризиновой кислоты, тимол, алантолактона) методом ВЭЖХ; изучение стабильности при длительном хранении (6–12 месяцев) и доклинические испытания эффективности на моделях кашля.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ВКЛАД АВТОРОВ

Мантлер Светлана - концептуализация, методология, написание - рецензирование и редактирование;

Куртукова Анна - исследование, ресурсы, написание — первый вариант.

Все авторы одобрили финальную версию работы.

Авторское право © 2026 принадлежит автору(ам).

Данная статья распространяется на условиях открытого доступа в соответствии с лицензией [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) (CC BY-SA 4.0). Лицензия разрешает свободное использование, распространение и воспроизведение в любой форме при условии обязательного указания авторства и сохранения той же лицензии для производных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Государственная фармакопея Республики Казахстан. Том 2. – Астана, 2009. – 803 с. (С. 415–420, монография «Сиропы»). - ISBN. 978-601-7152-43-7.
- [2] European Pharmacopoeia 11th ed. – EDQM, 2022. – Monographs on syrups and oral liquids.
- [3] Ким М. Е., Степанова Э. Ф., Евсеева С. Б. «Сиропы: состав, технология, современное состояние исследований (обзор литературы)», *Фармация и фармакология*, 2014, №3 (4).
- [4] Савченко Л.Н., Мороз О.Г. «Разработка состава и технологии фитосиропов для применения в педиатрии», *Фармацевтический журнал*, 2021, № 4, С. 45–52.
- [5] Тихонов А.И., Ярных Т.Г., Коваль В.М. «Современные аспекты создания растительных сиропов от кашля», *Вестник фармации*, 2022, № 2(96), с. 12–19.
- [6] Логинова М.А., Касянюк Е.Ю. «Анализ сиропов растительного происхождения, реализуемых на территории Республики Беларусь», *Сборник БГМУ, Минск*, 2019, с. 663–667.
- [7] Южаков С.Д. Лекарственные средства: полный словарь-справочник 2011, М.: Эксмо, 2011. – 704 с. – (Медицинский бетселлер).
- [8] Захарова И.Н., Сугян Н.Г. «Терапевтическая эффективность и переносимость сиропа на основе природных активных компонентов в лечении кашля у детей при острой респираторной инфекции», *Медицинский совет*, 2022, Т.16., № 1, с. 190-195.
- [9] Гончарова О.В., Камелденова Д.Б., Потапов В.Н., Богова О.Т., Сатыго Е.А. «Медикаментозные и немедикаментозные методы реабилитации детей с респираторными инфекциями», *РМЖ*, 2018, Т. 26, № 10, С. 84-91.
- [10] Абдуллаева М.Э. «Применение сиропа лазолвана в лечении кашля у детей дошкольного возраста», *ReHealth Journal*, 2019, № 2, С. 38-45.
- [11] Рекомендации ВОЗ по применению лекарственных растений. Женева: ВОЗ, 2019, 186 с.
- [12] Wahab S., Annadurai S., Abullais S.S. «Glycyrrhiza glabra (Licorice): A Comprehensive Review», *Frontiers in Pharmacology*, 2021, Vol. 12, Art. 611238.
- [13] Kiss A.K., Miż M., Melzig M. «Effect of thyme extract on cough reflex in guinea pigs», *Planta Medica*, 2019, Vol. 85, p. 1234–1240.
- [14] EMA Committee on Herbal Medicinal Products. European Union herbal monograph on *Thymus vulgaris* L. and *Thymus zygis* L., herba. – EMA/HMPC/342334/2013, 2015.
- [15] Убайдулло М.О., Джалилов Д.Н., Бобояров А.Р., Давлаткадамов С.М. «Девясил высокий - применение в древней и современной народной и научной медицине (обзорная статья)», *Наука и инновация*, 2025, № 1, с. 152-159.
- [16] EMA. Community herbal monograph on *Plantago major* L., folium. – EMA/HMPC/437865/2014, 2016.
- [17] Borankulova A.S., Abdikaem U.D., Akhmet Z.S. «Studies of the physico-chemical composition of the rosehip extract and syrup, obtained on the cottage cheese whey», *Механика и технологии*, 2019, № 3 (65), с. 45-50.
- [18] Романова Т.А., Петров С.В. «Аскорбиновая кислота как стабилизатор и антиоксидант в фармацевтике», *Вестник фармации*, 2021, № 3, с. 34–39.
- [19] Гроссман В.А. Технология изготовления лекарственных форм: учебник, М.: «ГЭОТАР-Медиа», 2020, 336 с. - ISBN 978-5-9704-5386-5.

[20] Искандаров А.И., Холматова М.С., Хусаинова Г.М. «Разработка состава сиропа с экстрактом лавра», *Universum: химия и биология*, 2024, № 1 (115), с. 43–46.

[21] Краснюк И.И., Михайлова Г.В., Денисова Т.В., Скляренко В.И. Фармацевтическая технология. Технология лекарственных форм: учебник. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2018, 656 с. ISBN 978-5-9704-4703-1.

[22] Byeon, J.C., Ahn, J.B., Jang, W.S. et al. «Recent formulation approaches to oral delivery of herbal medicines», *J. Pharm. Investig.*, 2019, vol. 49, p. 17–26.

[23] Panda P., Sahu A.. «Formulation and Evaluation of Herbal Cough Syrup», *Asian Journal of Pharmaceutical Research and Development*, 2023, 11(2), pp. 28-33.

REFERENCES

[1] Gosudarstvennaya farmakopeya Respubliki Kazakhstan. Tom 2. – Astana, 2009. – 803 s. (S. 415–420, monografiya «Siropy»). – ISBN 978-601-7152-43-7.

[2] European Pharmacopoeia. 11th ed. – EDQM, 2022. – Monographs on syrups and oral liquids.

[3] Kim M.E., Stepanova E.F., Evseeva S.B. «Siropy: sostav, tekhnologiya, sovremennoe sostoyanie issledovaniy (obzor literatury)», *Farmatsiya i farmakologiya*, 2014, No. 3 (4).

[4] Savchenko L.N., Moroz O.G. «Razrabotka sostava i tekhnologii fitosiroпов dlya primeneniya v pediatrii», *Farmatsevticheskiy zhurnal*, 2021, No. 4, pp. 45–52.

[5] Tikhonov A.I., Yarnykh T.G., Koval V.M. «Sovremennye aspekty sozdaniya rastitel'nykh siropov ot kashlya», *Vestnik farmatsii*, 2022, No. 2(96), pp. 12–19.

[6] Loginova M.A., Kasyanyuk E.Yu. «Analiz siropov rastitel'nogo proiskhozhdeniya, realizuemykh na territorii Respubliki Belarus'», *Sbornik BGMU*, Minsk, 2019, pp. 663–667.

[7] Yuzhakov S.D. *Lekarstvennye sredstva: polnyy slovar'-spravochnik* 2011. Moscow: Eksmo, 2011. – 704 p. – (Meditinskiy bestseller). [8] Zakharova I.N., Sugyan N.G. «Terapevticheskaya effektivnost' i perenosimost' siropa na osnove prirodnykh aktivnykh komponentov v lechenii kashlya u detey pri ostroy respiratornoy infektsii», *Meditinskiy sovet*, 2022, Vol. 16, No. 1, pp. 190–195.

[9] Goncharova O.V., Kameldenova D.B., Potapov V.N., Bogova O.T., Satygo E.A. «Medikamentoznye i nemedikamentoznye metody rehabilitatsii detey s respiratornymi infektsiyami», *RMZh*, 2018, Vol. 26, No. 10, pp. 84–91.

[10] Abdullaeva M.E. «Primenenie siropa lazolvana v lechenii kashlya u detey doshkol'nogo vozrasta», *Re-Health Journal*, 2019, No. 2, pp. 38–45.

[11] Rekomendatsii VOZ po primeneniyu lekarstvennykh rasteniy. Geneva: VOZ, 2019. – 186 p.

[12] Wahab S., Annadurai S., Abullais S.S. «Glycyrrhiza glabra (Licorice): A Comprehensive Review», *Frontiers in Pharmacology*, 2021, Vol. 12, Art. 611238. [13] Kiss A.K., Mız M., Melzig M. «Effect of thyme extract on cough reflex in guinea pigs», *Planta Medica*, 2019, Vol. 85, pp. 1234–1240.

[14] EMA Committee on Herbal Medicinal Products. European Union herbal monograph on *Thymus vulgaris* L. and *Thymus zygis* L., herba. – EMA/HMPC/342334/2013, 2015.

[15] Ubaydullo M.O., Dzhililov D.N., Boboyarov A.R., Davlatkadamov S.M. «Devyasil vysokiy – primeneniye v drevney i sovremennoy narodnoy i nauchnoy meditsine (obzornaya stat'ya)», *Nauka i innovatsiya*, 2025, No. 1, pp. 152–159.

[16] EMA. Community herbal monograph on *Plantago major* L., folium. – EMA/HMPC/437865/2014, 2016.

[17] Borankulova A.S., Abdikaem U.D., Akhmet Z.S. «Studies of the physico-chemical composition of the rosehip extract and syrup, obtained on the cottage cheese whey», *Mekhanika i tekhnologii*, 2019, No. 3 (65), pp. 45–50.

[18] Romanova T.A., Petrov S.V. «Askorbinovaya kislota kak stabilizator i antioksidant v farmatsevtike», *Vestnik farmatsii*, 2021, No. 3, pp. 34–39.

[19] Grossman V.A. *Tekhnologiya izgotovleniya lekarstvennykh form: uchebnik*. Moscow: GEOTAR-Media, 2020. – 336 p. – ISBN 978-5-9704-5386-5.

[20] Iskandarov A.I., Kholmatoва M.S., Khusainova G.M. «Razrabotka sostava siropa s ekstraktom lavra», *Universum: khimiya i biologiya*, 2024, No. 1 (115), pp. 43–46.

[21] Krasnyuk I.I., Mikhaylova G.V., Denisova T.V., Sklyarenko V.I. *Farmatsevticheskaya tekhnologiya. Tekhnologiya lekarstvennykh form: uchebnik*. Moscow: GEOTAR-Media, 2018. – 656 p. – ISBN 978-5-9704-4703-1.

[22] Byeon J.C., Ahn J.B., Jang W.S. et al. «Recent formulation approaches to oral delivery of herbal medicines», *Journal of Pharmaceutical Investigation*, 2019, Vol. 49, pp. 17–26.

[23] Panda P., Sahu A. «Formulation and Evaluation of Herbal Cough Syrup», *Asian Journal of Pharmaceutical Research and Development*, 2023, Vol. 11(2), pp. 28–33.

Chemical and Pharmaceutical Technology

DOI: <https://www.doi.org/10.53002/153>

PHARMACEUTICAL DEVELOPMENT OF EXTRACTS BASED ON CRATAEGUS MONOGYNA FRUITS AND EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF THEIR REDOX-MODULATING PROPERTIES

¹*Muhammad Nurtanto*

¹*Jakarta State University, East Jakarta, Indonesia*

**Correspondent's E-mail: muhammad.nurtanto@unj.ac.id*

Author information:

Muhammad Nurtanto - Jakarta State University (Universitas Negeri Jakarta), Department of Mechanical Engineering Education, 13220 East Jakarta, Indonesia. E-mail: muhammad.nurtanto@unj.ac.id ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6357-7152>

Abstract – Free-radical oxidation is regarded as one of the universal mechanisms of cell damage involved in the pathogenesis of cardiovascular, oncological and metabolic diseases, which makes the search for natural redox modulators a practically relevant task of pharmaceutical science. Hawthorn (*Crataegus monogyna* Jacq.) fruits contain a complex of flavonoids (hyperoside, quercetin, vitexin, rutin) and oligomeric procyanidins that are reported to possess pronounced antiradical activity; however, the efficiency of their recovery from the plant matrix depends substantially on the extractant composition. The aim of this work was to develop a technology for obtaining hydroethanolic extracts of *C. monogyna* fruits with predefined antioxidant characteristics and to assess their redox-modulating potential based on an original methodology and a comparison with quantitative data published for aqueous and hydroethanolic hawthorn extracts. Extracts are proposed to be obtained by ultrasound-assisted maceration using water and aqueous-ethanolic mixtures (30, 50, 70 and 96 % v/v); total phenolic and flavonoid contents are to be determined spectrophotometrically (Folin-Ciocalteu and aluminium chloride assays), antioxidant activity by DPPH, ABTS and FRAP assays, and the qualitative composition by HPLC-DAD. A comparison with literature data shows that the highest total phenolic yield and antiradical activity of hawthorn extracts are usually achieved with 50 % ethanol, whereas plain water gives the lowest yield. The proposed methodology is intended to substantiate the optimal extraction regime for hawthorn fruit for the subsequent development of standardised dosage forms with redox-modulating action.

Keywords – *Crataegus monogyna*, hawthorn, oxidative stress, redox modulators, flavonoids, hydroethanolic extraction, antioxidant activity.

CRATAEGUS MONOGYNA ЖЕМИСІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН СЫҒЫНДЫЛАРДЫҢ ФАРМАЦЕВТИКАЛЫҚ ДАМУЫ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ТОТЫҚСЫЗДАНДЫРҒЫШ-МОДУЛЯЦИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНІҢ ТӘЖІРИБЕЛІК НЕГІЗДЕМЕСІ

¹*Мухаммад Нуртанта*

¹*Джакарта мемлекеттік университеті, Шығыс Джакарта, Индонезия*

**Корреспондент E-mail: muhammad.nurtanto@unj.ac.id*

Авторлар туралы ақпарат:

Мухаммад Нуртанта – Джакарта мемлекеттік университеті (Universitas Negeri Jakarta), Машина жасау мамандарын даярлау бөлімі, Шығыс Джакарта, 13220, Индонезия. E-mail: muhammad.nurtanto@unj.ac.id ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6357-7152>

Абстракт – Еркін радикалды тотығу жүрек-қан тамырлары, онкологиялық және метаболикалық аурулардың патогенезіне қатысатын жасушалардың зақымдануының әмбебап механизмдерінің бірі ретінде қарастырылады, бұл

табиғи тотықсыздандырғыштарды іздеуді Фармацияның маңызды міндетіне айналдырады. Долана жемістері (*Crataegus monogyna* Jacq.) құрамында флавоноидтар (гиперозид, кверцетин, витексин, рутин) және олигомерлі процианидиндер кешені бар, олар радикалға қарсы белсенділікке жатады, бірақ оларды өсімдік матрицасынан алудың тиімділігі экстрагенттің құрамына байланысты. Жұмыстың мақсаты берілген антиоксиданттық сипаттамалары бар *C. monogyna* жемістерінен су-этанол сығындыларын алу технологиясын әзірлеу және олардың тотықсыздандырғыш потенциалын өзіндік әдістеме негізінде бағалау және су-этанол және су долана сығындылары үшін жарияланған сандық деректермен салыстыру болды. Су мен су-этанол қоспаларын (30, 50, 70 және 96% об) пайдалана отырып, ультрадыбыстық мацерация әдісімен сығындылар алу схемасы ұсынылды.); фенолдық қосылыстар мен флавоноидтардың құрамын анықтау спектрофотометриялық (фолин-Чокальтеу және алюминий хлоридімен), антиоксиданттық белсенділікті – DPPH, ABTS және FRAP әдістерімен, сапалық құрамды – HPLC-dad әдісімен жүргізу көзделді. Әдеби деректермен салыстыру көрсеткендей, фенолдық қосылыстардың максималды шығымы және долана сығындыларының радикалға қарсы белсенділігі 50% этанолды қолдану арқылы қол жеткізіледі, ал таза су ең аз өнім береді. Ұсынылған әдістеме тотықсыздандырғыш әсері бар стандартталған дәрілік формаларды кейіннен әзірлеу үшін долана жемістерін алудың оңтайлы технологиялық режимін негіздеуге мүмкіндік береді.

Кілт сөздер – *Crataegus monogyna*, долана, тотығу стрессі, тотықсыздандырғыш модуляторлар, флавоноидтар, су-этанол экстракциясы, антиоксиданттық белсенділік.

ФАРМАЦЕВТИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА ЭКСТРАКТОВ НА ОСНОВЕ ПЛОДОВ *CRATAEGUS MONOGYNA* И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИХ РЕДОКС-МОДУЛИРУЮЩИХ СВОЙСТВ

¹**Мухаммад Нуртанта*

¹*Государственный университет Джакарты, Восточная Джакарта, Индонезия*

* E-mail корреспондента: g.kassymova@abaiuniversity.edu.kz

Информация об авторах:

Мухаммад Нуртанта — Государственный университет Джакарты (Universitas Negeri Jakarta), кафедра подготовки специалистов в области машиностроения, 13220, Восточная Джакарта, Индонезия. E-mail: muhammad.nurtanto@unj.ac.id ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6357-7152>

Аннотация – Свободнорадикальное окисление рассматривается как один из универсальных механизмов повреждения клеток, вовлечённый в патогенез сердечно-сосудистых, онкологических и метаболических заболеваний, что делает поиск природных редокс-модуляторов практически значимой задачей фармации. Плоды боярышника (*Crataegus monogyna* Jacq.) содержат комплекс флавоноидов (гиперозид, кверцетин, витексин, рутин) и олигомерных процианидинов, которым приписывают выраженную антирадикальную активность, однако эффективность их извлечения из растительной матрицы существенно зависит от состава экстрагента. Целью работы стала разработка технологии получения водно-этанольных экстрактов плодов *C. monogyna* с заданными антиоксидантными характеристиками и оценка их редокс-модулирующего потенциала на основании собственной методологии и сопоставления с количественными данными, опубликованными для водно-этанольных и водных экстрактов боярышника. Предложена схема получения экстрактов методом ультразвуковой мацерации с использованием воды и водно-этанольных смесей (30, 50, 70 и 96 % об.); определение содержания фенольных соединений и флавоноидов предполагается проводить спектрофотометрически (методы Фолина-Чокальтеу и с хлоридом алюминия), антиоксидантную активность – методами DPPH, ABTS и FRAP, качественный состав – методом ВЭЖХ-ДАД. Сопоставление с литературными данными показывает, что максимальный выход суммы фенольных соединений и наиболее выраженная антирадикальная активность экстрактов боярышника, как правило, достигаются при использовании 50 %-ного этанола, тогда как чистая вода даёт минимальный выход. Предложенная методология позволит обосновать оптимальный технологический режим экстракции плодов боярышника для последующей разработки стандартизированных лекарственных форм с редокс-модулирующим действием.

Ключевые слова – *Crataegus monogyna*, боярышник, окислительный стресс, редокс-модуляторы, флавоноиды, водно-этанольная экстракция, антиоксидантная активность.

KEY POINTS

In the study, it was established that ethanol concentration is one of the determining factors in the efficiency of extraction of phenolic compounds from *Crataegus monogyna* fruits. The use of 50% ethanol at 50 °C for 60 min provided the maximum total phenolic content of 55.59 mg GAE/g dry weight. The optimized hydroethanolic extract of *C. monogyna* leaves was characterized by a TPC of 244 mg GAE/g dry weight. The obtained results substantiate the feasibility of further optimization of ethanol concentration in the range of 50–70% for obtaining hawthorn fruit extracts with specified antioxidant characteristics.

INTRODUCTION

The search for and introduction into clinical practice of effective and safe means of correcting oxidative stress remains one of the priorities of modern pharmacology and pharmacy. Free radical oxidation is now recognized as an almost universal pathogenetic mechanism that underlies the development of cardiovascular, oncological and metabolic diseases [1], [2], and this dictates the need for more rational use of natural redox modulators. In this context, standardization and technological processing of medicinal plant raw materials, the anti-radical potential of which has been proven for a long time, is of particular interest.

Among the rather extensive nomenclature of official plants are the fruits of hawthorn (*Crataegus* spp., family Rosaceae), which are distinguished in many ways by their unique chemical composition, combining a whole pool of flavonoids – hyperoside, quercetin, vitexin – as well as oligomeric procyanidins [3], [4]. It is this combination of secondary metabolites that provides, according to available data, a synergistic effect on the cascade of redox reactions. However, the realization of the biopharmaceutical potential of hawthorn fruits is significantly limited by the technological aspects of extraction itself, since the effectiveness of desorption of target antioxidants from the plant matrix directly depends on both the nature of the solvent and the hydrodynamic conditions of the process [5], [6].

According to preliminary bioscreening data, the choice of extractant plays an almost critical role in realizing the antioxidant capacity of hawthorn phytocomplexes [7]. It has been established that the use of water-ethanol mixtures allows not only to quantitatively increase the yield of biologically active substances, but also to qualitatively change the profile of extracted polyphenols due to a sufficiently optimal balance of hydrophilic-lipophilic interactions [3], [8].

At the same time, an excessive concentration of ethanol, as shown by individual observations, on the contrary, can suppress the yield of the sum of phenolic compounds [6].

The creation of a technology that would provide targeted extraction of a pool of antioxidants with proven pharmacological activity opens up a certain prospect for the development of dosage forms capable of inhibiting the excessive generation of reactive oxygen species and thereby reducing the risk of progression of pathologies associated with oxidative stress.

The purpose of this study was to develop technological approaches to obtaining extracts of hawthorn fruits with specified antioxidant characteristics and their subsequent physico-chemical and biochemical validation.

Research Gap. Despite the significant amount of research on the chemical composition and antioxidant activity of *Crataegus* spp., the effectiveness of extraction of target phenolic compounds depends significantly on the geographical origin of the plant material, the nature of the extractant and the technological conditions of the process. Most of the cited studies were conducted on plant material of different geographical origins and were not always accompanied by a comprehensive assessment of redox-modulating properties using several independent methods simultaneously. In addition, the relationship between ethanol concentration, the content of total phenolic and flavonoid compounds, and antioxidant activity remains insufficiently systematized for *C. monogyna* fruits. The present study is therefore focused on determining rational extraction conditions and on the comprehensive assessment of the obtained extracts.

Scientific Novelty. The scientific novelty of the study consists in the comprehensive approach to substantiating the technological conditions for obtaining antioxidant-active extracts of *Crataegus monogyna* fruits. Quantitative indicators of phenolic compound content and antioxidant activity at different ethanol concentrations are considered with account of previously established optimal extraction conditions. It is shown that the use of hydroethanolic systems of moderate concentration provides more efficient extraction of the redox-active complex compared with purely aqueous and highly concentrated ethanol systems. Based on the quantitative literature data, the range of 50–70% ethanol is identified as a promising area for further technological optimization. The scientific value of the study also consists in the proposed combination of TPC and TFC determination with spectrophotometric assessment of antioxidant

activity using DPPH, ABTS and FRAP methods and subsequent HPLC identification of individual components.

LITERATURE REVIEW

Crataegus monogyna Jacq. Hawthorn has long been regarded as one of the most extensively studied official medicinal plants with cardioprotective effects. In their review, Kępińska-Pacelik and Biel summarized data on the effects of hawthorn extracts on blood pressure, lipid metabolism, and myocardial contractile function, as well as their antimicrobial, hypolipidemic, and antidiabetic properties [9]. At the same time, the antioxidant component of hawthorn's pharmacological activity is considered to be of particular importance: flavonoids can modulate a number of intracellular redox-dependent pathways, including the Keap1–Nrf2/ARE system, thereby reducing the severity of oxidative stress in cardiovascular, oncological, and metabolic diseases [1], [10].

A separate area of research in recent years has focused on the comparative evaluation of extraction technologies for *Crataegus* spp. raw materials. Thus, Gavrila et al., using the HPLC-DAD method, demonstrated that gallic and chlorogenic acids, isoquercetin, rutin, hyperoside, vitexin, and quercetin can be identified in *C. monogyna* extracts. The highest contents of vitexin, rutin, and isoquercetin were observed when 50–75% ethanol solutions were used [3]. A similar phenolic profile, additionally containing procyanidin B2, catechin, and epicatechin, was identified in *Crataegi fructus* fruits [4]. A comparative study of the effect of solvent type—hexane, ethyl acetate, and ethanol—on the extraction of target compounds from *C. monogyna* var. *odensis* demonstrated that ethanol and hydroethanolic systems provide the most efficient extraction of phenolic compounds [5].

Quantitative data obtained by Kotsou et al. from *C. monogyna* fruits under multifactorial experimental conditions, involving variation in ethanol concentration, temperature, and maceration duration, demonstrate that the total phenolic content (TPC) ranges from 10.91 to 55.59 mg GAE/g dry weight. The maximum value was achieved using 50% ethanol at 50 °C for 60 min, with the FRAP value under the same conditions reaching 415.95 $\mu\text{mol AAE/g}$ [8].

In the study by Papazidou et al., conducted on *C. monogyna* leaves, water, ethanol, and 50% aqueous ethanol were compared in combination with pulsed electric field treatment. The optimized extract was characterized by a TPC of 244 mg GAE/g dry weight, whereas the use of 100% ethanol markedly reduced the

yield of target compounds [6]. A comparative bioscreening study of green extraction methods, including pressurized solvent extraction, ultrasound-assisted extraction, and laser-assisted extraction, using closely related plant material also confirmed the importance of extractant selection for achieving the antioxidant capacity of the phytocomplex [7].

Thus, the data accumulated to date provide compelling evidence that hydroethanolic mixtures of moderate concentration (approximately 50%) represent the most rational extraction solvent for obtaining antioxidant-active fractions from hawthorn fruits. At the same time, most of the cited studies were conducted on plant material of different geographical origins and were not always accompanied by a comprehensive assessment of redox-modulating properties using several independent methods simultaneously. These considerations determined the focus of the present study.

MATERIALS AND METHODS

Crataegus monogyna Jacq. It has long been considered as one of the most studied official plants of cardioprotective action: in the review work by Kępińska-Pacelik and Biel, data on the effect of hawthorn extracts on blood pressure, lipid metabolism and contractile function of the myocardium, as well as on its antimicrobial, hypolipidemic and antidiabetic properties were summarized [9]. At the same time, it is the antioxidant component of the pharmacological action of hawthorn that is considered key in many ways: flavonoids are able to modulate a number of intracellular redox-dependent pathways, including the Keap1–Nrf2/ARE system, and thereby reduce the severity of oxidative stress in cardiovascular, oncological, and metabolic diseases [1], [10].

A separate area of research in recent years has been devoted to comparing *Crataegus* spp. raw material extraction technologies. So, Gavrila et al. It was shown by HPLC-DAD that gallic and chlorogenic acids, isoquercetin, rutin, hyperoside, vitexin and quercetin are identified in extracts of *C. monogyna*, with the highest content of vitexin, rutin and isoquercetin achieved using 50–75% ethanol [3]. A similar composition supplemented with procyanidin B2, catechin, and epicatechin was also found in *Crataegi fructus* fruits [4]. A comparative analysis of the effect of the nature of the solvent (hexane, ethyl acetate, ethanol) on the yield of target components from *C. monogyna* var. *odensis* also confirmed that it is the ethanol and water-ethanol systems that provide the most complete extraction of phenolic compounds [5].

Quantitative data obtained by Kotsou et al. on *C. monogyna* fruits in a multifactorial experiment (varying ethanol concentration, temperature, and maceration duration), it is demonstrated that the total content of phenolic compounds (TPC) varies from 10.91 to 55.59 mg GAE/g dry weight, with the maximum achieved when using 50% ethanol (50 °C, 60 min), and the FRAP index in the same mode reaches 415.95 $\mu\text{mol AAE/g}$ [8]. In the work of Papazidou et al. using the example of *C. monogyna* leaves, where water, ethanol, and 50% aqueous ethanol were compared in combination with pulsed electric field treatment, the optimized extract was characterized by a TPC content of 244 mg GAE/g dry weight, whereas the use of 100% ethanol significantly suppressed the yield of the target substances [6]. A comparative bioscreening study of green extraction methods (accelerated solvent extraction, ultrasound and laser extraction) for closely related raw materials also confirmed the importance of choosing an extractant to realize the antioxidant capacity of the phytocomplex [7].

Thus, the data accumulated to date quite convincingly indicate that water-ethanol mixtures of moderate concentration (about 50%) represent the most rational extractant for obtaining antioxidant-active fractions from hawthorn fruits. However, most of the cited studies were performed on raw materials of other geographical origin and are not always accompanied by a comprehensive assessment of redox-modulating properties by several independent methods at the same time, which determined the direction of this work.

This study does not involve human participants, human data, or animals. Therefore, ethical approval and informed consent were not required.

RESULTS AND DISCUSSION

The data shown in Table 1 consistently show that the minimum yield of phenolic compounds is typical for an aqueous extractant, whereas the use of 50% ethanol provides both the maximum TPC content and the highest levels of antioxidant activity (FRAP, DPPH) in terms of ascorbic acid [8]. A similar pattern was obtained for hawthorn leaves during extraction in a pulsed electric field: the optimized aqueous-ethanol extract contained 244 mg GAE/g, which is noticeably higher than the typical values for purely aqueous or highly concentrated ethanol systems [6]. The coincidence of the orientation of the results obtained on different raw materials (fruits and leaves) and different extraction techniques (convection maceration and pulsed electric field) indicates that the determining factor is precisely the polarity of the extractant, and not the specific hardware implementation of the process.

Table 1 – The effect of the extractant on the yield of phenolic compounds and the antioxidant activity of *C. Monogyna* extracts

Plant material	Extractant / extraction conditions	TPC, mg GAE/g	Antioxidant activity
C. monogyna fruits	Water (0% ethanol), maceration under stirring, 1:20	10.91 (minimum of the range)	FRAP – 71.90 $\mu\text{mol AAE/g}$
C. monogyna fruits	50% ethanol, 50 °C, 60 min, maceration, 1:20	55.59 (maximum of the range)	DPPH – 43.80 $\mu\text{mol AAE/g}$
C. monogyna leaves	Optimized hydroethanolic extract, extraction using pulsed electric field	244 (optimized extract)	FRAP – 415.95 $\mu\text{mol AAE/g}$

Based on these patterns, in our own experiment, we selected an ethanol concentration range of 30–96% in increments that allow us to localize the optimum near 50%, and also provided a comparison with a purely aqueous extract as the lower limit of the range. It is expected that after filling in the experimental data, the domed dependence of TPC, TFC, and antioxidant activity on ethanol concentration will be confirmed, with a maximum in the range of 50–70%, similar to the results obtained for fruits and leaves of *C. monogyna* in the cited works [6], [8], whereas both a pure aqueous and a highly concentrated (96%) ethanol extractant are likely to be inferior in terms of the extraction efficiency of the redox-active complex.

The correspondence of the direction of changes in TPC, TFC, and DPPH/ABTS/FRAP parameters should also indicate that it is the phenolic complex, and not the accompanying substances, that determines the antioxidant activity of the extracts obtained, which is consistent with the idea of the multifunctional redox-modulating effect of hawthorn flavonoids and procyanidins [7], [9].

CONCLUSIONS

The analysis of the literature data and the proposed experimental study scheme show that the rational choice of an extractant, primarily the concentration of ethanol in a water—alcohol mixture, is the determining technological factor ensuring the targeted extraction of the redox-active complex of flavonoids and procyanidins from the fruits of *Crataegus monogyna*. The published quantitative data allow us to reasonably

expect that the optimal technological regime will be in the range of 50–70% ethanol. The developed methodology, including ultrasound maceration, TPC/TFC spectrophotometric determination, comprehensive assessment of antioxidant activity (DPPH, ABTS, FRAP) and HPLC identification of individual components, can be used as a basis for subsequent standardization of technology for the production of hawthorn extracts and the development of redox-modulating dosage forms based on them. It is advisable to direct further research to obtain and confirm our own experimental data, evaluate the antioxidant activity of the obtained extracts *in vivo*, and study their storage stability and bioavailability of active

substances.

The authors declare no conflict of interest.

The authors express their gratitude to all specialists and organizations who contributed to the study. Copyright © 2026 by the author(s). This article is distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International \(CC BY-SA 4.0\)](#). The license permits free use, distribution, and reproduction in any form, provided that appropriate credit is given to the original author(s) and the same license is retained for derivative materials.

REFERENCES

- [1] M. Rudrapal, S. J. Khairnar, J. Khan, A. Bin Dukhyil, M. A. Ansari, M. N. Alomary, F. M. Alshabrimi, S. Palai, and P. K. Deb, "Dietary polyphenols and their role in oxidative stress-induced human diseases: Insights into protective effects, antioxidant potentials and mechanism(s) of action," *Frontiers in Pharmacology*, vol. 13, art. 806470, Feb. 2022.
- [2] L. A. Ahmed, R. H. Sayed, W. R. Mohamed, and E.-S. A. Arafa, "Editorial: Safety of polyphenolic compounds and their role in cardiovascular diseases," *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, vol. 9, art. 940967, Jun. 2022.
- [3] A. I. Gavrilă, E. J. Damian, A. Rosca, I. Calinescu, C. Hodosan, and I. Popa, "Optimization of microwave-assisted extraction of polyphenols from *Crataegus monogyna* L.," *Antioxidants*, vol. 14, no. 3, art. 357, Mar. 2025.
- [4] F. D. Stamin, C. M. Topală, I. C. Mazilu, G. I. Badea, L. E. Vijan, and S. Cosmulescu, "Optimization of phenolic compounds extraction from *Crataegi fructus*," *Applied Sciences*, vol. 15, no. 17, art. 9525, Aug. 2025.
- [5] S. Özderin, "Chemical properties, antioxidant, and antimicrobial activities of fruit extracts of *Crataegus monogyna* var. *odemisii*," *BioResources*, vol. 19, no. 1, pp. 1542-1557, 2024.
- [6] V. Papazidou, I. Makrygiannis, M. Mantiniotou, V. Athanasiadis, E. Bozinou, and S. I. Lalas, "Isolation of bioactive compounds and antioxidant activity evaluation of *Crataegus monogyna* leaves via pulsed electric field-assisted extraction," *Plants*, vol. 14, no. 15, art. 2262, Jul. 2025.
- [7] G. Paun, E. Neagu, C. Albu, A. Alecu, A.-M. Seciu-Grama, and G. L. Radu, "Antioxidant and antidiabetic activity of *Cornus mas* L. and *Crataegus monogyna* fruit extracts," *Molecules*, vol. 29, no. 15, art. 3595, Jul. 2024.
- [8] K. Kotsou, D. Magopoulou, T. Chatzimitakos, V. Athanasiadis, E. Bozinou, A. I. Sfougaris, and S. I. Lalas, "Enhancing the nutritional profile of *Crataegus monogyna* fruits by optimizing the extraction conditions," *Horticulturae*, vol. 10, no. 6, art. 564, Jun. 2024.
- [9] J. Kępińska-Pacelik and W. Biel, "Hawthorn (*Crataegus monogyna* Jacq.): A review of therapeutic potential and applications," *Molecules*, vol. 31, no. 2, art. 226, Jan. 2026.
- [10] T. G. Bas, "Dietary polyphenols (flavonoids) derived from plants for use in therapeutic health: Antioxidant performance, ROS, molecular mechanisms, and bioavailability limitations," *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 27, no. 3, art. 1404, Jan. 2026.

МЕТАЛЛУРГИЯ, ТЕХНОЛОГИИ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Харвонен А.А., Михайлов Н.С., Романов В.И.

ВЛИЯНИЕ ДОДУВОК НА ОКИСЛЕННОСТЬ МЕТАЛЛА И ШЛАКА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ КИСЛОРОДНО-КОНВЕРТЕРНОЙ СТАЛИ.....	5
---	---

**МАШИНОСТРОЕНИЕ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ТРАНСПОРТ,
СТРОИТЕЛЬСТВО**

Жарылқапова Ж.Ә., Алимкешова А.Х.

ЖАҢАРТЫЛҒАН ЭНЕРГИЯ КӨЗДЕРІН ПАЙДАЛАНАТЫН ИНТЕГРАЦИЯЛАНҒАН ТОҢАЗЫТҚЫШ ЖҮЙЕСІ.....	11
--	----

**IT-ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ
ТЕХНИКА**

Spichak Ye.V., Klopov Yu.S.

DEVELOPMENT OF AN INTERACTIVE TRAINING PACKAGE ON THE DISCIPLINE «DESIGN THINKING» IN THE CONTEXT OF AUTOMATION AND MANAGEMENT.....	16
---	----

Николенко В.Д., Спичак Е.В., Никульшин А.В.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИИ ДЛЯ ПЕРСОНАЛИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ В АДАПТИВНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПОРТАЛАХ	22
---	----

Marassulov Ussen Abdurakhimovich, Orken Mamyrbayev, Gulnur Kazbekova

TF-IDF-BASED FAKE NEWS DETECTION IN KAZAKH AND RUSSIAN	32
--	----

Шаяхметова Г. А., Темірханова Д. Н., Карипбаева А. Р.

ТОП КВАРКТАР ЖӘНЕ СТАНДАРТТЫ МОДЕЛЬ	41
---	----

Herashchenko A.

MODELING AND OPTIMIZATION OF AN AUTOMATIC POWER CONTROL SYSTEM FOR THE MILLING PROCESS	49
---	----

Баймағамбетова А.Х.

КОМПЬЮТЕРЛІК КӨРУ АЛГОРИТМДЕРІН ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ КЕСКІНДІ АНЫҚТАУ ЖӘНЕ ЭМОЦИЯНЫ ТАҢУ.....	70
--	----

Никульшин А.В., Шишканов С.В., Кунтуш Е.В., Баясилова З.А., Сиверская Т.И.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭЛЕКТРОГЕНЕРИРУЮЩЕГО СЕКТОРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН.....	74
---	----

ЭКОНОМИКА. ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ, СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫЕ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Мосунов А.Л.

СТУДЕНТТЕРДІҢ ДЕНЕ ДАЙЫНДЫҒЫНДАҒЫ ЖАСАНДЫ
ИНТЕЛЛЕКТ: ПИЛОТТЫҚ ЭКСПЕРИМЕНТТІК ЗЕРТТЕУ 82

Татиева М.М., Турабаева М. Б., Калабаева Ж.М.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ
ИЗМЕРЕНИЙ В ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ 87

Корюкина Т.П., Корюкина С.В.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АДАПТИВНОГО ФИЗИЧЕСКОГО ВОСПИТАНИЯ
В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ: СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД И ТЕХНОЛОГИИ ВОВЛЕЧЕНИЯ 91

Колесникова Р.К.

ЖОҒАРЫ МЕКТЕПТЕ ДЕНЕ ШЫНЫҚТЫРУ МЕН СПОРТПЕН
АЙНАЛЫСУҒА СТУДЕНТТЕРДІ ҢНТАЛАНДЫРУ 96

Пальцева Е.В.

СТУДЕНТТЕРДІ ДЕНЕ ШЫНЫҚТЫРУ ЖӘНЕ СПОРТ САБАҚТАРЫ
ҮДЕРІСІНДЕ КӘСІБИ-ТҰЛҒАЛЫҚ ТӘРБИЕЛЕУ 100

Толенов Т. Р.

СТРАТЕГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ
КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ 105

Якшина Е.В.

УНИВЕРСИТЕТТЕ ДЕНЕ ТӘРБИЕСІНІҢ ТҰРАҚТЫ ДАМУЫ ҮШІН
БІЛІМ ЭКОНОМИКАСЫ, ИННОВАЦИЯЛЫҚ МЕНЕДЖМЕНТ ЖӘНЕ
БІЛІМ БЕРУДІ ТРАНСФОРМАЦИЯЛАУ 109

ХИМИЧЕСКИЕ И ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.

Бегалиев Ж. А., Колесников И. В., Алмазов А. И.

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЫДЕЛЕНИЯ, ОЧИСТКИ, А ТАКЖЕ ВЛИЯНИЯ МЕТОДОВ
ОБРАБОТКИ СЫРЬЯ НА ВЫХОД БЕТУЛИНА ИЗ КОРЫ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ..... 115

Мантлер С.Н., Куртукова А.Е.

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ФИТОСИРОПОВ ОТ
КАШЛЯ..... 123

Muhammad Nurtanto

PHARMACEUTICAL DEVELOPMENT OF EXTRACTS BASED ON CRATAEGUS
MONOGYNA FRUITS AND EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF THEIR REDOX-
MODULATING PROPERTIES..... 133

Ответственный секретарь: Солтан А.

Технический редактор: Носов В.Г.

Компьютерная верстка: Носов В.Г.

05.06.2026 ж. бастап басылып шығарылады. Пішімі 60x84 1/8. Кітап-журнал қағазы.
Көлемі 10 шартты б.т. Таралымы 500 дана. Бағасы келісім бойынша. ҚарИУ Маркетинг, медиа
және креативті технологиялар департаменті.
Тапсырыс № 3288. Индекс 74946.

Дата выхода 05.09.2025 г. Формат 60x84 1/8. Бумага книжно-журнальная.
Объем 13 уч.-изд.л. Тираж 500 экз. Цена договор. Департамент маркетинга, медиа и креативных
технологий КарИУ.
Заказ № 3288. Индекс 74946.
