

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

2023 • 1

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

БАЯНДАМАЛАРЫ

ДОКЛАДЫ
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

REPORTS
OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PUBLISHED SINCE JANUARY 1944

ALMATY, NAS RK

БАС РЕДАКТОР:

БЕНБЕРИН Валерий Васильевич, медицина ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан Республикасы Президенті Іс Басқармасы Медициналық орталығының директоры (Алматы, Қазақстан), Н = 11

РЕДАКЦИЈАЛЫҚ АЛҚА:

РАМАЗАНОВ Тілекқабил Сәбитұлы, (бас редактордың орынбасары), физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), Н = 26

РАМАНҚҰЛОВ Ерлан Мирхайдарұлы, (бас редактордың орынбасары), профессор, ҚР ҰҒА корреспондент-мүшесі, Ph.D биохимия және молекулалық генетика саласы бойынша Ұлттық биотехнология орталығының бас директоры (Нұр-Сұлтан, Қазақстан), Н = 23

САНГ-СУ Квак, Ph.D (биохимия, агрохимия), профессор, Корей биоғылым және биотехнология ғылыми-зерттеу институты (KRIBB), өсімдіктердің инженерлік жүйелері ғылыми-зерттеу орталығының бас ғылыми қызметкері, (Дэчон, Корея), Н = 34

БЕРСІМБАЕВ Рахметқажы Ескендірұлы, биология ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Еуразия ұлттық университеті. Л.Н. Гумилев (Нұр-Сұлтан, Қазақстан), Н = 12

ӘБИЕВ Руфат, техника ғылымдарының докторы (биохимия), профессор, Санкт-Петербург мемлекеттік технологиялық институты «Химиялық және биотехнологиялық аппаратураны оңтайландыру» кафедрасының меңгерушісі, (Санкт-Петербург, Ресей), Н = 14

ЛОКШИН Вячеслав Нотанович, медицина ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, «PERSONA» халықаралық клиникалық репродуктология орталығының директоры (Алматы, Қазақстан), Н = 8

СЕМЕНОВ Владимир Григорьевич, биология ғылымдарының докторы, профессор, Чуваш республикасының еңбек сіңірген ғылым қайраткері, «Чуваш мемлекеттік аграрлық университеті» Федералдық мемлекеттік бюджеттік жоғары білім беру мекемесі Акушерлік және терапия кафедрасының меңгерушісі, (Чебоксары, Ресей), Н = 23

ФАРУК Асана Дар, Хамдар аль-Маджида Хамдард университетінің шығыс медицина факультеті, Шығыс медицинасы колледжінің профессоры, (Карачи, Пәкістан), Н = 21

ЦЕЛЕТКИН Игорь Александрович, медицина ғылымдарының докторы, Монтана штаты университетінің профессоры (Монтана, АҚШ), Н = 27

КАЛАНДРА Пьетро, Ph.D (физика), нанокұрылымды материалдарды зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия), Н = 26

МАЛЫМ Анна, фармацевтика ғылымдарының докторы, профессор, Люблин медицина университетінің фармацевтика факультетінің деканы (Люблин, Польша), Н = 22

БАЙМҰҚАНОВ Дастан Асылбекұлы, ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, ҚР ҰҒА корреспондент мүшесі, "Мал шаруашылығы және ветеринария ғылыми-өндірістік орталығы" ЖШС мал шаруашылығы және ветеринарлық медицина департаментінің бас ғылыми қызметкері (Нұр-Сұлтан, Қазақстан), Н=1

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова), Н = 42

ҚАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрділұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), Н = 7

БОШКАЕВ Қуантай Авғазыұлы, Ph.D. Теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 10

QUEVEDO Hernando, профессор, Ядролық ғылымдар институты (Мехико, Мексика), Н = 28

ЖҮСПНОВ Марат Абжанұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, теориялық және ядролық физика кафедрасының профессоры, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 7

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина ҰҒА академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина), Н = 5

ТАКИБАЕВ Нұрғали Жабағаұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 5

ХАРИН Станислав Николаевич, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан-Британ техникалық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 10

ДАВЛЕТОВ Аскар Ербуланович, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 12

«Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының баяндамалары»

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

Меншіктеуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» Республикалық қоғамдық бірлестігі (Алматы қ.). Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 29.07.2020 ж. берілген № KZ93VPY00025418 мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: *өсімдік шаруашылығы, экология және медицина саласындағы биотехнология және физика ғылымдары.*

Мерзімділігі: жылына 4 рет. Тиражы: 300 дана.

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

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2023
Типографияның мекен-жайы: «Аруна» ЖК, Алматы қ., Муратбаева көш., 75.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

БЕНБЕРИН Валерий Васильевич, доктор медицинских наук, профессор, академик НАН РК, директор Медицинского центра Управления делами Президента Республики Казахстан (Алматы, Казахстан), Н = 11

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

РАМАЗАНОВ Тлеккабул Сабитович, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), Н = 26

РАМАНКУЛОВ Ерлан Мирхайдарвич, (заместитель главного редактора), профессор, член-корреспондент НАН РК, Ph.D в области биохимии и молекулярной генетики, Генеральный директор Национального центра биотехнологии (Нур-Султан, Казахстан), Н = 23

САНГ-СУ Квак, доктор философии (Ph.D, биохимия, агрохимия), профессор, главный научный сотрудник, Научно-исследовательский центр инженерных систем растений, Корейский научно-исследовательский институт бионауки и биотехнологии (KRIBB), (Дэчон, Корея), Н = 34

БЕРСИМБАЕВ Рахметкажи Искендинович, доктор биологических наук, профессор, академик НАН РК, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева (Нур-Султан, Казахстан), Н = 12

АБНОВ Руфат, доктор технических наук (биохимия), профессор, заведующий кафедрой «Оптимизация химической и биотехнологической аппаратуры», Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Санкт-Петербург, Россия), Н = 14

ЛОКШИН Вячеслав Нотанович, доктор медицинских наук, профессор, академик НАН РК, директор Международного клинического центра репродуктологии «PERSONA» (Алматы, Казахстан), Н = 8

СЕМЕНОВ Владимир Григорьевич, доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки Чувашской Республики, заведующий кафедрой морфологии, акушерства и терапии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный аграрный университет» (Чебоксары, Чувашская Республика, Россия), Н = 23

ФАРУК Асана Дар, профессор Колледжа восточной медицины Хамдарда аль-Маджида, факультет восточной медицины Университета Хамдарда (Карачи, Пакистан), Н = 21

ЩЕПЕТКИН Игорь Александрович, доктор медицинских наук, профессор Университета штата Монтана (США), Н = 27

КАЛАНДРА Пьетро, доктор философии (Ph.D, физика), профессор Института по изучению наноструктурированных материалов (Рим, Италия), Н = 26

МАЛЫМ Анна, доктор фармацевтических наук, профессор, декан фармацевтического факультета Люблинского медицинского университета (Люблин, Польша), Н = 22

БАЙМУКАНОВ Дастанбек Асылбекович, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент НАН РК, главный научный сотрудник Департамента животноводства и ветеринарной медицины ТОО «Научно-производственный центр животноводства и ветеринарии» (Нур-Султан, Казахстан), Н = 1

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова), Н = 42

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), Н = 7

БОШКАЕВ Куантай Авгазыевич, доктор Ph.D, преподаватель, доцент кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 10

QUEVEDO Hernando, профессор, Национальный автономный университет Мексики (UNAM), Институт ядерных наук (Мехико, Мексика), Н = 28

ЖУСУПОВ Марат Жуканович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 7

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина), Н = 5

ТАКИБАЕВ Нурғали Жабағевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 5

ХАРИН Станислав Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахстано-Британский технический университет (Алматы, Казахстан), Н = 10

ДАВЛЕТОВ Аскар Ербуланович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 12

Доклады Национальной академии наук Республики Казахстан»

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

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы). Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан № **KZ93VPY00025418**, выданное 29.07.2020 г.

Тематическая направленность: *биотехнология в области растениеводства, экологии, медицины и физические науки.*

Периодичность: 4 раз в год. Тираж: 300 экземпляров

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28; ком. 219; тел. 272-13-19

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2023

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75.

EDITOR IN CHIEF:

BENBERIN Valery Vasilievich, Doctor of Medicine, Professor, Academician of NAS RK, Director of the Medical Center of the Presidential Property Management Department of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan), H = 11

EDITORIAL BOARD:

RAMAZANOV Tlekkabul Sabitovich, (Deputy Editor-in-Chief), Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), H = 26

RAMANKULOV Erlan Mirkhaidarovich, (Deputy Editor-in-Chief), Professor, Corresponding Member of NAS RK, Ph.D in the field of biochemistry and molecular genetics, General Director of the National Center for Biotechnology (Nur-Sultan, Kazakhstan), H = 23

SANG-SOO Kwak, PhD in Biochemistry, Agrochemistry, Professor, Chief Researcher, Plant Engineering Systems Research Center, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology (KRIBB), (Daecheon, Korea), H = 34

BERSIMBAEV Rakhmetkazhi Iskendirovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of NAS RK, L.N. Gumilyov Eurasian National University (Nur-Sultan, Kazakhstan), H = 12

ABIYEV Rufat, Doctor of Technical Sciences (Biochemistry), Professor, Head of the Department of Optimization of Chemical and Biotechnological Equipment, St. Petersburg State Technological Institute (St. Petersburg, Russia), H = 14

LOKSHIN Vyacheslav Notanovich, Professor, Academician of NAS RK, Director of the PERSONA International Clinical Center for Reproductology (Almaty, Kazakhstan), H = 8

SEMENOV Vladimir Grigorievich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Honored Scientist of the Chuvash Republic, Head of the Department of Morphology, Obstetrics and Therapy, Chuvash State Agrarian University (Cheboksary, Chuvash Republic, Russia), H = 23

PHARUK Asana Dar, professor at Hamdard al-Majid College of Oriental Medicine. Faculty of Oriental Medicine, Hamdard University (Karachi, Pakistan), H = 21

TSHEPETKIN Igor Aleksandrovich, Doctor of Medical Sciences, Professor at the University of Montana (Montana, USA), H = 27

CALANDRA Pietro, PhD in Physics, Professor at the Institute of Nanostructured Materials (Monterotondo Station Rome, Italy), H = 26

MALM Anna, Doctor of Pharmacy, Professor, Dean of the Faculty of Pharmacy, Lublin Medical University (Lublin, Poland), H = 22

BAIMUKANOV Dastanbek Asylbekovich, Doctor of Agricultural Sciences, Corresponding Member of the NAS RK, Chief Researcher of the department of animal husbandry and veterinary medicine, Research and Production Center for Livestock and Veterinary Medicine Limited Liability Company (Nur-Sultan, Kazakhstan), H=1

TIGHINEANU Ion Mikhailovich, Doctor in Physics and Mathematics, Academician, Full Member of the Academy of Sciences of Moldova, President of the AS of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova), H = 42

KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich, doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), H = 7

BOSHKAYEV Kuantai Avgazievich, PhD, Lecturer, Associate Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 10

QUEVEDO Hemando, Professor, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Institute of Nuclear Sciences (Mexico City, Mexico), H = 28

ZHUSSUPOV Marat Abzhanovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 7

KOVALEV Alexander Mikhailovich, Doctor in Physics and Mathematics, Academician of NAS of Ukraine, Director of the State Institution «Institute of Applied Mathematics and Mechanics» DPR (Donetsk, Ukraine), H = 5

TAKIBAYEV Nurgali Zhabagaevich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 5

KHARIN Stanislav Nikolayevich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Kazakh-British Technical University (Almaty, Kazakhstan), H = 10

DAVLETOV Askar Erbulanovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 12

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

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

Owner: RPA «National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan» (Almaty). The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan No. **KZ93VPY00025418**, issued 29.07.2020.

Thematic scope: *biotechnology in the field of crop research, ecology and medicine and physical sciences.*

Periodicity: 4 times a year. Circulation: 300 copies.

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

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2023

Address of printing house: ST «Aruna», 75, Muratbayev str., Almaty.

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF
KAZAKHSTAN

ISSN 2224-5227

Volume 345, Number 1 (2023), 125–135

<https://doi.org/10.32014/2023.2518-1483.189>

UDC 53.072.8

© **D.M. Zharylgapova, A.Zh. Seytmuratov, 2023**

Korkyt Ata Kyzylorda State University, Kyzylorda, Kazakhstan.

E-mail: angisin_@mail.ru

SHORT-RANGE RADIO COMMUNICATION SYSTEMS CALCULATION

Zharylgapova D.M. — PhD. The Korkyt Ata Kyzylorda State University. Department of «Physics and Mathematics». 120000. Kyzylorda. Kazakhstan

E-mail: djm.06@mail.ru. ORCID: 0000-0001-7962-9239;

Seitmuratov A.Zh — Doktor of Physical and Matematical Sciences. TheKorkyt Ata Kyzylorda State University. Department of «Physics and Mathematics». Professoz. 120000. Kyzylorda. Kazakhstan

E-mail: angisin_@mail.ru. ORCID: 0000-0002-9622-9584.

Abstract. This article focuses on researching radio communication systems, especially cellular communications. Analog and digital cellular communication systems are compared and contrasted, and the basis of the differences between the standards is discussed. Using previously established methods and accounting for the maximum allowable wavelength and antenna opening area, it was possible to determine the signal power during the investigation. The study examined analog and digital systems using a mobile station device as an example. In both cases, the initial information – human speech information – enters the station's input as continuous acoustic vibrations, which are converted into continuous electrical signals by the microphone. However, this is where the similarities between the two types of systems end; almost all subsequent processing is handled differently in each. The built-in antennas are typically one decimeter in length and are practically serviceable, meaning they have nearly the same sensitivity when receiving from any direction. As a result, changes in the device's orientation have little effect on the level of the received signal. We examine the differences between digital and analog cellular communication systems, as well as the nature of differences between standards within systems of the same type. In the work, we won't go into specifics and will stick to general information. During the research, we were able to calculate the signal power using previously known formulas while keeping the maximum allowable wavelength and the area of the antenna opening in mind

Keywords: cellular communication, radio waves, antennas, analog systems, digital systems

© Д.М. Жарылғапова, А.Ж. Сейтмұратов*, 2023

Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, Қазақстан.

E-mail: angisin_@mail.ru

ҚЫСҚА АРАЛЫҚТАҒЫ РАДИОБАЙЛАНЫС ЖҮЙЕЛЕРІН ЕСЕПТЕУ

Жарылғапова Д.М. — PhD. «Физика және Математика» кафедрасы. Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті. 120000. Қызылорда. Қазақстан

E-mail: djm.06@mail.ru. ORCID: 0000-0001-7962-9239;

Сейтмұратов А.Ж. — м.ғ.д., профессор. «Физика және Математика» кафедрасы. Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті. 120000. Қызылорда. Қазақстан

E-mail: angisin_@mail.ru. ORCID: 0000-0002-9622-9584.

Аннотация. Бұл мақала радиобайланыс жүйесін, оның ішінде ұялы байланысты зерттеуге арналған. Сандық және аналогтық ұялы байланыс жүйелерінің айырмашылығы зерттеліп, стандарттар арасындағы айырмашылықтардың сипаты түсіндіріледі. Зерттеу барысында бұрын белгілі формулаларды пайдалана отырып, максималды рұқсат етілген толқын ұзындығы мен антеннаның ашылу аймағын ескере отырып, сигнал қуатын есептеу мүмкін болды. Жұмыста аналогтық және цифрлық жүйелер салыстырылды және бұл жылжымалы станция құрылғысының мысалында қарастырылды. Екі жағдайда да бастапқы ақпарат — адамның сөйлеу кезіндегі ақпараты микрофон арқылы үздіксіз электрлік сигналдарға түрленетін үздіксіз акустикалық тербеліс түрінде станцияға түседі. Дегенмен, осы жерде жүйенің екі түрі арасындағы ұқсастық аяқталады, іс жүзінде барлық кейінгі өңдеу оларда әртүрлі тәсілдермен орындалады. Кіріктірілген антенналар үлкен емес, орташа алғанда - ұзындығы шамамен бір дециметр және іс жүзінде қызмет етеді, яғни кез келген бағыттан қабылдау кезінде бірдей дерлік сезімталдыққа ие. Сондықтан аппараттың бағдарының өзгеруі қабылданған сигнал деңгейіне аз әсер етеді. Біз сандық және аналогтық ұялы байланыс жүйелерінің бір-бірінен қалай ерекшеленетінін қарастырдық, сондай-ақ бір тектес жүйелердегі стандарттар арасындағы айырмашылықтардың сипатын түсіндірдік. Зерттеу барысында біз рұқсат етілген максималды толқын ұзындығын және антеннаның ашылу аймағын ескере отырып, бұрын белгілі формулаларды пайдалана отырып, сигнал қуатын есептей алдық.

Түйін сөздер: Ұялы байланыс, радиотолқындар, антенналар, аналогтық жүйелер, сандық жүйелер

© Д.М. Жарылгапова, А.Ж. Сейтмуратов*, 2023

Қызылординский университет имени Қорқыт Ата, Қызылорда, Қазақстан.

E-mail: angisin_@mail.ru

РАСЧЕТ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ МАЛОЙ ДАЛЬНОСТИ

Жарылгапова Д.М. — PhD. Кафедра «Физика и Математика». Қызылординский университет им. Қорқыт Ата. 120000. Қызылорда. Қазақстан

E-mail: djm.06@mail.ru. ORCID: 0000-0001-7962-9239;

Сейтмуратов А.Ж. — д.ф.-м.н., профессор. Кафедра «Физика и Математика». Қызылординский университет им. Қорқыт Ата. 120000. Қызылорда. Қазақстан

E-mail: angisin_@mail.ru. ORCID: 0000-0002-9622-9584.

Аннотация. Данная статья посвящена изучению системы радиосвязи, в том числе сотовой связи. Изучены различия между цифровой и аналоговой систем сотовой связи, а также дано пояснение характеру различий между стандартами. В ходе исследования удалось по ранее известным формулам рассчитать мощность сигнала, учитывая максимально допустимую длину волны и площадь раскрытия антенн. В работе сопоставляются аналоговые и цифровые системы, рассмотрено это на примере устройства подвижной станции. В обоих случаях исходная информация — информация речи человека — поступает на вход станции в виде непрерывных акустических колебаний, которые преобразуются микрофоном в непрерывные электрические сигналы. На этом, однако, сходство систем двух типов заканчивается, практически вся последующая обработка производится в них по — разному. Встроенные антенны не велики, в среднем — порядка одного дециметра в длину и являются практически исправными, то есть обладают почти одинаковой чувствительностью при приеме с любых направлений. Поэтому изменения ориентации аппарата мало влияют на уровень принимаемого сигнала. Мы рассмотрели, чем различаются между собой цифровые и аналоговые системы сотовой связи, а также пояснили характер различий между стандартами в пределах систем одного и того же типа. В ходе исследования нам удалось по ранее известным формулам рассчитать мощность сигнала, учитывая максимально допустимую длину волны и площадь раскрытия антенн.

Ключевые слова: сотовая связь, радиоволны, антенны, аналоговые систем, цифровые системы

Введение

Сегодня в XXI веке сотовая связь все более актуализируется, бурно развивается и требует должного внимания к себе. Развитие сотовой связи неизменно опережает все самые смелые прогнозы. Мировые тенденции развития сотовой связи продолжают оставаться положительными и очень оптимистическими, быстро прогрессируют технологические возможности, рынок расширяется и углубляется. Сотовая связь, получившая практическое

применение с конца 70-х – начала 80-х годов, продолжает развиваться так интенсивно, что этот процесс можно назвать триумфальным мирным (и всемирным) наступлением. В связи с этим бурным развитием сотовой связи предпринята попытка исследования этой области, чтобы развивалась наука наравне с ней.

Сотовая связь — это мобильная радиотелефонная связь, предоставляющая все виды услуг современной телефонной связи, но без ограничений подвижности абонента. Например, абонент может ехать в автомашине со скоростью более 100 километров в час, и при этом все услуги остаются ему доступным. Он не только может позвонить сам кому угодно, но и в любой другой может позвонить ему, и вызов найдет его в любом месте и на любой скорости, если только он не покинул зону действия сети. (Берлин, 2009). В данном исследовании мы рассмотрели, чем различаются между собой цифровые и аналоговые системы сотовой связи, а также пояснили характер различий между стандартами в пределах систем одного и того же типа.

Материалы и основные методы

Основным методом исследования в данной работе является аналоговые и цифровые системы, на примере устройства подвижной станции. Начнем с сопоставления аналоговых и цифровых систем, и сделаем это на примере устройства подвижной станции. В обоих случаях исходная информация — информация речи человека — поступает на вход станции в виде непрерывных акустических колебаний, которые преобразуются микрофоном в непрерывные же электрические сигналы. На этом, однако, сходство систем двух типов заканчивается, практически вся последующая обработка производится в них по — разному.

В аналоговых системах низкочастотный (НЧ) сигнал с выхода микрофона подвергается предварительной обработке (коррекция спектра, сжатие динамического диапазона, полосовая фильтрация, ограничение) в аналоговом виде, т.е. в виде непрерывного сигнала с плавно изменяющимся уровнем, и затем накладывается посредством частотной модуляции (ЧМ) на сверхвысокочастотную (СВЧ) несущую (Весоловский, 2006). В приемной части электрический сигнал также в аналоговой форме подвергается демодуляции и НЧ обработке, после чего динамиком преобразуется в акустический сигнал, воспринимаемый ухом человека.

В цифровых системах НЧ сигнал с выхода микрофона прежде всего преобразуется при помощи аналого – цифрового преобразователя (АЦП) в цифровую форму, т.е. в последовательность импульсов, представляющих в цифровом (двоичном) виде уровни сигнала в дискретные (равноотстоящие) моменты времени. Частота дискретизации выбирается в соответствии с полосой, а число уровней квантования — в соответствии с динамическим диапазоном сигнала, с тем чтобы обеспечить возможность восстановления аналогового сигнала с допустимым уровнем искажений.

Обычно частота дискретизации составляет 8 кГц, а число равноотстоящих

уровней квантования – 127, так что уровень сигнала выражается восьмиразрядным двоичным числом, и один разряд из восьми отводится под знак числа (ибо $127=2^7 - 1$). Таким образом, поток информации с выхода АЦП составляет 64 кбит/с (8 бит с частотой 8 кГц), и вся последующая обработка производится в цифровой форме (Тарасов, 1961).

Эта обработка заключается в кодировании, включающем кодирование речи — с целью устранения избыточности, за счет чего и удается осуществить сжатие поток информации, и канальное кодирование — его целью является защита информации от ошибок вследствие неизбежных искажений сигналов при их распространении и обработке. Для переноса цифровых НЧ сигналов на несущую частоту используются специфические методы дискретной модуляции: фазовая или частотная манипуляция. Обработка сигналов в приемной части соответствует обработке в передающей: демодуляция, декодирование, цифра — аналоговое преобразование (ЦАП); аналоговый сигнал с выхода ЦАП поступает на динамик.

Блок сопряжения прием-передача, позволяющий использовать одну и ту же антенну и для передачи, и для приема сигналов при одинаковом функциональном назначении, также устроен в аналоговых и цифровых системах по-разному. В аналоговых системах в простейшем случае — это пара полосовых фильтров, настроенных на разных частотах, в соответствии с дуплексным по частоте; один фильтр пропускает сигналы с выхода передатчика на антенну, а второй — с антенны на вход приемника (Раджагопал, 2012). В цифровых системах простейший блок сопряжения — электронный коммуникатор, подключающий антенну либо к выходу передатчика, либо ко входу приемника, поскольку здесь подвижная станция никогда не работает на прием и передачу одновременно. Точно так же и логический блок, выполняющий функции управления станцией, имеет в аналоговых и цифровых системах разного устройства — как по причине разного состава управляющей информацией, так и следствия различия параметров используемых сигналов управления. Таким образом, по-настоящему одинаковыми в подвижных станциях аналоговых и цифровых систем могут быть только микрофон, динамик, клавиатура, дисплей и антенны; все остальные элементы в них существенно различны.

Каковы же преимущество цифровых систем, что позволяет им успешно вытеснять аналоговые системы с рынка?

Основных преимуществ несколько, и мы расштываем, что после всего сказанного смысл их будет в достаточной мере понятен:

более высокой емкостью систем, достигаемая за счет размещения нескольких физических каналов в одном частотном благодаря сжатию с цифровой информации; например, при переходе от аналогового стандарта AMPS к цифровому DAMPS число физических каналов увеличивается втрое, а емкость системы, как показывают строгие оценки — даже в несколько более, чем втрое, хотя последнее и кажется на первый взгляд неочевидным;

более высокую помехоустойчивость, достигаемая за счет использования

весьма совершенных методов помехоустойчивого кодирования цифровой информации;

существенное расширение возможности управления, его более высокая гибкость, что позволяет реализовать многие качественно новые возможности, например, «Режим засыпания» с прореженной передачей сигналов управления режиме ожидания подвижной станции, и, соответственно, с кратковременным включением питания, что значительно увеличивает время работы источника питания от одной зарядки;

Появления дополнительных функциональных возможностей, которые в аналоговом варианте реализуются с трудом или вообще не реализуются, например, шифрования информации.

Перейдем к различиям между стандартами. До сих пор мы не акцентировали внимания на различиях, имея в виду некоторую «Обобщенную» систему сотовой связи (Haas, 2021). Между тем, такие различия существуют, и иногда они оказываются настолько существенно, что обойти их внимания невозможно. Поясним это на примере двух цифровых стандартов, использующих один и тот же метод множественного доступа TDMA — стандартов DAMPS и GSM. Помимо очевидных различий — разных частотных диапазонов и разных полос частотных каналов — существуют и менее очевидные, но не менее важные:

- разные методы (алгоритмы) кодирования речи и разные коэффициенты временного сжатия информации (Коэффициент 3 в полосе 30кГц- DAMPS, коэффициент 8 в полосе 200 кГц- в GSM.

- разные методы помехоустойчивого канального кодирования;
- разные методы дискретной модуляции;
- разный состав управляющей информации и различное построение эфирных интерфейсов.

В результате, если адресоваться к блок — схеме типа рис. 4.9, то у разных цифровых систем оказывается ненамного больше одинаковых элементов, чем у цифровых и аналоговых. Пожалуй, различия здесь даже глубже, чем в случае автомашин разных марок, каждая из которых имеет кузов, двигатель и 4 колеса, но никакая деталь одной не подходит к другой.

Результаты

Сотовый телефон не относится к устройствам повышенной опасности. Тем не менее, при пользовании им следует соблюдать определенные меры предосторожности.

Сюда относятся правила и ситуации, так или иначе связанные с излучением аппарата.

При неблагоприятном стечении обстоятельств сотовый телефон может нарушить работу электромедицинских приборов — слуховых аппаратов, электрокардиостимуляторов, об этом надо знать, и, если обстоятельство того требует, телефоном не пользоваться.

Сотовым телефоном не разрешается пользоваться на борту самолета во время полетов, так как это может вызвать помехи работы бортовых систем,

в частности, навигационной аппаратуры, известны, правда, результат исследований компаний — производителей самолетов, а также американских и английских служб гражданской авиации, не подтверждающие такого влияния, но запрещающие правила, насколько нам известно, пока остаются в силе.

Сотовым телефоном не следует пользоваться на территориях автозаправочных станциях, нефтехранилищ, химических заводов.

В каких-то ситуациях работа сотового телефона может приводить к помехам телевизора, радиоприемника, персонального компьютера.

Известны сообщения о случаях влияния мобильной связи на систему управления и защиты атомных электростанций, приводимых к отключению реакторов.

Для надежной и эффективной работы аппарата следует использовать только штатные антенны и не прикасаться руками к антенне включенного аппарата.

Нельзя давать аппарат ребенку. Он может тыкнуть антенной в глаз или спровоцировать лишние расходы непреднамеренным вызовом, не говоря уже о возможности поломки.

Аппарат не следует разбирать, тем более, что в нем нет элементов, который абонент смог бы сам отремонтировать.

Нужно беречь аппарат от попадания влаги не ронять, не подвергать воздействию высокой температуры.

Не следует держать абонентский аппарат рядом с дискетными банковскими карточками в избежание магнитных записей.

Следует использовать только штатные источники питания, зарядные устройства и преобразователи.

При попадании в огонь аккумуляторные батареи взрываются.

Обработанные никель, кадмиевые аккумуляторы подлежат специальной утилизации, поскольку кадмий не безвреден для организма человека. Наконец, особая осторожность нужна при использовании сотового телефона за рулем автомашины.

Проблема биологической безопасности сотового телефона, безусловно, актуальна, и связано это в первую очередь с тем, что каждому человеку дорого свое здоровье, а сотовый аппарат, являющийся источником СВЧ-излучения, регулярно оказывается у самого уха человека, в непосредственной в близости от головного мозга (Ратынский и др, 2000).

Антенны, используемые в сочетании с абонентскими терминалами сотовой связи, могут быть одного из следующих трех типов: встроенные в ручной аппарат, автомобильные, стационарные.

Встроенные антенны, как мы уже отмечали, могут быть выдвижными или невыводными. Встроенные антенны невелики (в среднем — порядка одного дециметра в длину) и являются практически исправными, то есть обладают почти одинаковой чувствительностью при приеме с любых

направлений. Поэтому изменений ориентации аппарата мало влияет на уровень принимаемого сигнала.

Автомобильные антенны позволяют повысить чувствительность аппарата, а их применение имеет смысл в тех случаях, когда приходится пользоваться сотовой связью. Вблизи границ зоны действия сети или на тех участках, где чувствительности аппарата не хватает для уверенной связи. В низинах, лесных массивах, не удаленных от базовых станций улицах. Автомобильные антенны значительно больше встроенных по габаритам- примерно до метра в длину, и обладают значительной направленностью, обеспечивая преимущественный прием и излучение горизонтальной плоскостью более или менее равномерно во всех направлениях. Автомобильная антенна может быть пассивной или активной, т.е. сстроенным усилителем.

Стационарные антенны предназначены для использования в комплекте со стационарными сотовыми аппаратами, устанавливаемыми вне зоны уверенной связи сотовой сети, возможно, на удалении 10–20 км от границы приема на встроенную антенну аппарата. Стационарные антенны еще более тяжелы и громоздки, чем автомобильные, и по внешнему виду могут напоминать уличные телевизионные. Стационарные антенны бывают активными, т.е. в ее состав входит встроенный усилитель, что особенно существенно при значительной длине кабеля, соединяющего антенну с аппаратом (Джайсвал и др, 2013). По сути, именно антенна и является в данном случае тем элементом, за счет которого увеличивается дальность действия системы и обеспечивается возможность нормальной связи на значительном удалении от базовой станции.

Остановимся на расчете коэффициента направленного действия.

Антенны, показывающие увеличение мощности в главном направлении, пропорциональны площади раскрытия антенны A и могут быть вычислены по формуле:

$$D = \frac{4\pi A}{\lambda^2} f \quad (1)$$

Выводы по допустимому поглощенному коэффициенту направленного действия антенны, показывающей увеличение мощности в главном направлении, пропорциональны A и вычисляются по формуле:

$$D = \frac{4\pi A_3}{\lambda^2} f \quad (2)$$

Из этой формулы находим

$$A_3 = \frac{\lambda^2 D}{4\pi} \quad (3)$$

для нашего приемника $D \approx 1 \quad \lambda = \frac{c}{f}$ (1) где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с

Мы рассматриваем случаи при $\nu_1 = 450$ МГц, $\nu_2 = 900$ МГц,

$\nu_3 = 1800$ МГц

$$2) \lambda_2 = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{900 \times 10^6} = \frac{300}{900} = 0,333 \text{ м}$$

$$3) \lambda_3 = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{1800 \times 10^6} = \frac{300}{1800} = 0,167 \text{ м}$$

$$2. 1) A_{\nu_1} = \frac{\lambda^2 D}{4\pi} = \frac{(0,667)^2 \times 1}{4 \times 3,14} = \frac{0,445}{12,56} = 0,03$$

$$2) A_{\nu_2} = \frac{\lambda^2 D}{4\pi} = \frac{(0,333)^2 \times 1}{4 \times 3,14} = \frac{0,11}{12,56} = 0,00$$

$$3) A_{\nu_3} = \frac{\lambda^2 D}{4\pi} = \frac{(0,167)^2 \times 1}{4 \times 3,14} = \frac{0,028}{12,56} = 0,00$$

Исходя из требования биологической безопасности, мощность:

$P_{\text{пер}} \leq 0,2$ Вт макс – допустимое.

Основное уравнение радиосвязи

$$P_{\text{сигн}} = \frac{P_{\text{пер}} \times \eta \times D}{4\pi R^2} A_{\nu} \quad (3)$$

Площадь антенны $A_{\nu} = 0,035$ м²

$R \geq (2 \div 3)$ км D – коэффициент направленного действия.

$D = 1$ (для нашего приемника)

$$P_{\text{сигн}} = \frac{0,2}{78,5 \times 10^6} \times 0,035 = \frac{0,2 \times 35 \times 10^{-3}}{78,5 \times 10^6} = 0,089 \times 10^{-9} = 0,089 \text{ нВт}$$

Пусть мы имеем передающую антенну с коэффициентом направленного действия $D \approx 1$.

Как уже говорилось, несмотря на направленность, радиоволны, создаваемые такой антенной, являются сферическими (Аренберг, 1957). Поэтому на расстоянии r в главном направлении плотность потока энергии в соответствии с формулой

$$S = \frac{P_{\text{пер}}}{4\pi r^2} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \quad (4)$$

где $P = S \cdot A_3$, A – площадь антенны подставляем формулу и получаем P – мощность передач на расстоянии.

$$r^2 = \frac{DA_3}{4\pi}$$

$$r_1^2 = \frac{1 \cdot 0,035 \text{ м}^2}{12,56} = 0,0028 \text{ м}^2 \quad r_1 = \sqrt{0,0028} = 0,053 \text{ м}$$

$$r_2^2 = \frac{0,0088 \text{ м}^2}{12,56} = 0,0007 \text{ м}^2 \quad r_2 = \sqrt{0,0007} = 0,026 \text{ м}$$

$$r_3^2 = \frac{0,0022 \text{ м}^2}{12,56} = 0,0002 \text{ м}^2 \quad r_3 = \sqrt{0,0002} = 0,014 \text{ м}$$

В ходе исследования нам удалось по ранее известным формулам рассчитать мощность сигнала, учитывая максимально допустимую, длину волны и площадь раскрытия антенн.

ЛИТЕРАТУРА

Аренберг А.Г., 1957 — *Аренберг А.Г.* Распространение дециметровых и сантиметровых волн. Советское радио. Москва. 1957 г.

Берлин А.Н., 2009 — *Берлин А.Н.* Сотовые системы связи: Учебное пособие/-М, 2009. –360 с.

Важенин Н.А., 2013 — *Важенин Н.А.* Электрические ракетные двигатели космических аппаратов и их влияние на радиосистемы космической связи/ -М.: ФизМатлит, 2013. –432 с.

Весоловский К., 2006 — *Весоловский К.* Системы подвижной радиосвязи /-М.: ГЛТ, 2006. –536 с.

Комашинский А.В., Максимов А., 2007 — *Комашинский А.В., Максимов А.* -М.: ГЛТ, 2007, –176 с.

Ксенофонтов С.Н. — *Ксенофонтов С.Н.* Направляющие системы электросвязи. Сборник задач: Учебное пособие для ВУЗов

Пономарев Л.И., 2007 — *Пономарев Л.И.* Антенные системы сотовой связи / -М.: 2007. – 38 с.

Томаси У., 2007 — *Томаси У.* Электронные системы связи / -М.: Техносфера, 2007. – 1360 с.

Ратынский М.В., Телегин А.В., 2000 — *Ратынский М.В., Телегин А.В.* Телефон в кармане. Радио и связь. Москва, 2000 г.

Ф.И. Тарасов, 1961 — *Ф.И. Тарасов.* Справочник радиолюбителя. Под ред. Ф.И. Тарасов Госэнергоиздат. 1961 г.

Rajagopal S., Roberts R.D., Sang-Kyu Lim, 2012 — *Rajagopal S., Roberts R.D., Sang-Kyu Lim.* «IEEE 802.15.7 visible light communication: modulation schemes and dimming support», IEEE Communications Magazine, Volume 50. Issue 3. Pp. 72–82, March, 2012.

Seitmuratov A., Taimuratova L., 2019 — *Seitmuratov A., Taimuratova L.* Conditions of extreme stress state// News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technology sciences. Volume 5. Number 437. (2019), 202–206 <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.143>.

H. Haas — “Wireless Data from Every Light Bulb”, TED Website, Aug. 2011. [Online]. Available: http://bit.ly/ted_vlc.

N.S. Jaiswal and P.S. Chopde, 2013 — *N.S. Jaiswal and P.S. Chopde.* “Review of Li-Fi Technology: New Future Technology-Light Bulb to Access the Internet!”. *International Journal of Scientific & Engineering Research.* Volume 4. Issue 12, December 2013.

REFERENCES

- Arenberg A.G., 1957 — *Arenberg A.G.* Propagation of decimeter and centimeter waves. Soviet radio. Moscow. 1957.
- Berlin A.N., 2009 — *Berlin A.N.* Cellular communication systems: Textbook/-M, 2009.—360 p.
- Vazhenin N.A., 2013 — *Vazhenin N.A.* Electric rocket engines of space vehicles and their influence on the radio systems of space communications / - M.: FizMatlit, 2013.— 432 p.
- Vesolovsky K., 2006 — *Vesolovsky K.* Systems of mobile radio communication /-M.: GLT. 2006.— 536 p.
- Komashinsky A.V., Maksimov A., 2007 — *Komashinsky A.V., Maksimov A.* - M.: GLT. 2007, – 176 p.
- Ksenofontov S.N. — *Ksenofontov S.N.* Electric guide systems. Collection of tasks: Textbook for universities
- Ponomarev L.I., 2007 — *Ponomarev L.I.* Antenna systems of cellular communication / -M.: 2007. –38 p.
- Tomasi U., 2007 — *Tomasi U.* Electronic communication systems / -M.: Technosfera, 2007. –1360 p.
- Ratynsky M.V., Telegin A.V., 2000 — *Ratynsky M.V., Telegin A.V.* Phone in your pocket. Radio and communication. Moscow, 2000.
- Handbook of the radio amateur. Ed. F.I. Tarasov Gosenergoizdat. 1961.
- Rajagopal S., Roberts R.D., Sang-Kyu Lim, 2012 — *Rajagopal S., Roberts R.D., Sang-Kyu Lim.* «IEEE 802.15.7 visible light communication: modulation schemes and dimming support». IEEE Communications Magazine. Volume 50. Issue 3. Pp. 72–82. March, 2012.
- Seitmuratov A., Taimuratova L., 2019 — *Seitmuratov A., Taimuratova L.* Conditions of extreme stress state// News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technology sciences. Volume 5. Number 437. (2019). 202–206. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.143>.
- H. Haas, 2011 — *H. Haas.* “Wireless Data from Every Light Bulb”, TED Website, Aug. 2011. [Online]. Available: http://bit.ly/ted_vlc.
- N.S. Jaiswal and P.S. Chopde, 2013 — N.S. Jaiswal and P.S. Chopde. “Review of Li-Fi Technology: New Future Technology-Light Bulb to Access the Internet!”. International Journal of Scientific & Engineering Research. Volume 4. Issue 12. December, 2013.

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF
KAZAKHSTAN

ISSN 2224-5227

Volume 345, Number 1 (2023), 136–147

<https://doi.org/10.32014/2023.2518-1483.190>

UDC 52-384

© V.Yu. Kim^{1*}, I.M. Izmailova^{1,2}, A.Z. Umirbayeva^{1,2}, A. Beket³,
B. Talgatuly³, 2023

¹Fesenkov Astrophysical institute, Almaty, Kazakhstan;

²al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;

³Bobek gymnasium, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: kim@fai.kz

AN ASTRONOMICAL CALENDAR. A PROGRAM AND ALGORITHMS

Kim Vitaliy Yurievich — candidate of physics and mathematics science, a senior researcher at the Laboratory of physics of stars and nebulae at Fesenkov Astrophysical Institute. 050020. Observatoriya 23. Almaty, Kazakhstan

E-mail: kim@fai.kz. ORCID: 0000-0003-1202-9751;

Izmailova Ildana Mazhitovna — an engineer at the Laboratory of physics of stars and nebulae at Fesenkov Astrophysical Institute. 050020. Observatoriya 23. Medeu district. Almaty, Kazakhstan. Master student at al-Farabi Kazakh National University. 050040. Timiryazev 71. Almaty, Kazakhstan

E-mail: izmailova@fai.kz. ORCID: 0000-0001-9878-0989;

Umirbayeva Adel Zhanbolatovna — an engineer at the Laboratory of physics of stars and nebulae at Fesenkov Astrophysical Institute. 050020. Observatoriya 23. Almaty, Kazakhstan. Master student at al-Farabi Kazakh National University. 050040, Timiryazev 71, Almaty, Kazakhstan

E-mail: umirbayeva@fai.kz. ORCID: 0000-0001-9339-4990;

Beket Alan — a student at Bobek gymnasium. 050070. Baikenov 23. Almaty, Kazakhstan

E-mail: alanbeket6@gmail.com. ORCID: 0000-0002-6845-4151;

Talgatuly Baurzhan — a student at Bobek gymnasium. 050070. Baikenov 23. Almaty, Kazakhstan

E-mail: n9star007@gmail.com. ORCID: 0000-0002-1419-4286.

Abstract. The software has been developed for automated calculations of the celestial coordinates (ephemeris) of the Sun and Moon, which makes it possible to calculate the time of sunrise and sunset of these objects, the time of the onset and end of civil, navigational and astronomical twilight, the phases of the Moon, depending on the geographical position of the observation point on the earth's surface and its time zone. Realized algorithms and methods for obtaining numerical ephemeris of the Sun and Moon and calculating the time of sunrise, sunset, and twilight are given. This program, called the Astronomical Calendar, is an important element for the automated distribution of observational time on robotic telescopes without human intervention. Further possible prospects for developing and applying the Astronomical calendar are shown. Part of the software is implemented as an online application available to any Internet user, allowing everyone to receive the above data online. The program can be used for planning both professional and

amateur astronomical observations, assessing the level of natural illumination of the earth's surface at a particular point in time, and for other tasks related to the above calculations.

Keywords: astronomical calendar, observation planner, ephemeris

© В.Ю. Ким^{1*}, И.М. Измайлова^{1,2}, А.Ж. Умирбаева^{1,2}, А. Бекет³,
Б. Талғатұлы³, 2023

¹ В.Г. Фесенков атындағы астрофизика институты;

² Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті;

³ «Бөбек» ҰҒПББСО.

E-mail: kim@fai.kz

АСТРОНОМИЯЛЫҚ КҮНТІЗБЕ. БАҒДАРЛАМА ЖӘНЕ АЛГОРИТМДЕР

Ким Виталий Юрьевич — физика-математика ғылымдарының кандидаты, В.Г. Фесенков атындағы астрофизика институтының аға ғылыми қызметкері. 050020. Обсерватория көш. 23. Алматы, Қазақстан

E-mail: kim@fai.kz. ORCID: 0000-0003-1202-9751;

Измайлова Ильдана Мажитовна — В.Г. Фесенков атындағы астрофизика институтының инженері. 050020. Обсерватория көш. 23, Алматы, Қазақстан. Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, физика-техникалық факультеті, магистрант. 050040. Тимирязев көш. 71. Алматы, Қазақстан

E-mail: izmailova@fai.kz. ORCID: 0000-0001-9878-0989;

Умирбаева Адель Жанболатқызы. — В.Г. Фесенков атындағы астрофизика институтының инженері. 050020. Обсерватория көш. 23. Алматы, Қазақстан. Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, физика-техникалық факультеті, магистрант. 050040. Тимирязев көш. 71. Алматы, Қазақстан

E-mail: umirbayeva@fai.kz. ORCID: 0000-0001-9339-4990;

Бекет Алан — Бөбек гимназиясының 10 класста оқушысы. 050070. Байкенов көш. 23. Алматы, Қазақстан

E-mail: alanbeket6@gmail.com. ORCID: 0000-0002-6845-4151;

Талғатұлы Бауыржан — Бөбек гимназиясының 10 класста оқушысы. 050070. Байкенов көш. 23. Алматы, Қазақстан

E-mail: n9star007@gmail.com. ORCID: 0000-0002-1419-4286.

Аннотация. Жер бетіндегі бақылау нүктесінің географиялық орнына және сағаттық белдеуіне байланысты Айдың фазалары, навигациялық және астрономиялық ымырт, азаматтық уақыттың басталуы және аяқталуы, берілген объектілердің шығуы және батуының уақыттарын есептеуді жүзеге асыратын, Күн мен Айдың аспадығы координаталарын (эфемеридаларын) автоматты түрде есептеуге арналған бағдарламалық жасақтама жасалды. Күн мен Айдың сандық эфемеридаларын алудың, сондай-ақ күннің шығуы мен батуы мен ымырт уақытын есептеуде орындалатын алгоритмдері мен әдістері келтірілген. Берілген бағдарлама, яғни Астрономиялық күнтізбе роботталған телескоптарға адамның қатысуынсыз автоматты түрде бақылау

уақытын үлестіру үшін маңызды бөлігі болып табылады. Бағдарламалық жасақтаманың бір бөлігі онлайн қосымшасы түрінде жүзеге асқан және ол интернет желісін қолданушылардың барлығына қолжетімді, жоғарыдағы мәліметтерді интерактивтік режимде ала алады. Бағдарламаны кәсіби және әуесқой астрономиялық бақылауларды жоспарлауға, нақты бір уақыттағы жер бетінің табиғи жарықтандыру деңгейін бағалауға, сондай-ақ жоғарыда аталған есептеулерге байланысты басқа тапсырмаларды орындауға пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: астрономиялық күнтізбе, бақылауларды жоспарлаушы, эфемеридалар

© В.Ю. Ким^{1*}, И.М. Измайлова^{1,2}, А.Ж. Умирбаева^{1,2}, А. Бекет³,
Б. Талгатулы³, 2023

¹Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова;

²Казахский национальный университет им. аль-Фараби;

³ННПООЦ «Бобек».

E-mail: kim@fai.kz

АСТРОНОМИЧЕСКИЙ КАЛЕНДАРЬ. ПРОГРАММА И АЛГОРИТМЫ

Ким Виталий Юрьевич — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Лаборатории физики звезд и туманностей Астрофизического института им. В.Г. Фесенкова. 050020, ул. Обсерватория 23. Алматы, Казахстан

E-mail: kim@fai.kz. ORCID: 0000-0003-1202-9751;

Измайлова Ильдана Мажитовна — инженер Лаборатории физики звезд и туманностей Астрофизического института им. В.Г. Фесенкова. 050020, ул. Обсерватория 23. Алматы, Казахстан. Магистрант физико-технического факультета Казахского национального университета им. аль-Фараби, 050040, ул. Тимирязева 71. Алматы, Казахстан

E-mail: izmailova@fai.kz. ORCID: 0000-0001-9878-0989;

Умирбаева Адель Жанболатовна — инженер Лаборатории физики звезд и туманностей Астрофизического института им. В.Г. Фесенкова. 050020, ул. Обсерватория 23. Алматы, Казахстан. Магистрант физико-технического факультета Казахского национального университета им. аль-Фараби. 050040, ул. Тимирязева 71. Алматы, Казахстан

E-mail: umirbayeva@fai.kz. ORCID: 0000-0001-9339-4990;

Бекет Алан — ученик 10 класса гимназии Бобек. 050070, ул. Байкенова 23. Алматы, Казахстан

E-mail: alanbeket6@gmail.com. ORCID: 0000-0002-6845-4151;

Талгатулы Бауыржан — ученик 10 класса гимназии Бобек. 050070, ул. Байкенова 23, Алматы, Казахстан

E-mail: n9star007@gmail.com. ORCID: 0000-0002-1419-4286.

Аннотация. Разработано программное обеспечение для автоматизированных расчетов небесных координат (эфемерид) Солнца и Луны, позволяющее проводить вычисления времени восхода и захода данных объектов, времени наступления и окончания гражданских, навигационных и астрономических сумерек, фаз Луны в зависимости от географического положения точки наблюдения на земной поверхности и часового пояса.

Приведены реализуемые алгоритмы и методы для получения численных эфемерид Солнца и Луны, а также для расчета времени восхода и захода и сумерек. Данная программа, именуемая *Астрономическим календарем*, является важным элементом для автоматизированного распределения наблюдательного времени на роботизированных телескопах без участия человека. Показаны дальнейшие возможные перспективы развития и применения *Астрономического календаря*. Часть программного обеспечения реализована в виде онлайн-приложения, доступного для любых пользователей сети Интернет, позволяющее получать вышеуказанные данные в интерактивном режиме. Программа может быть использована для планировки как профессиональных, так и любительских астрономических наблюдений, оценки уровня естественной освещенности земной поверхности в конкретный момент времени, а также для иных задач, связанных с вышеуказанными расчетами.

Ключевые слова: астрономический календарь, планировщик наблюдений, эфемериды

Благодарности. Исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (программа No BR10965141).

Введение

В 2021 году началась реализация программы по созданию Виртуальной обсерватории на базе Астрофизического института им. Фесенкова (VO project, 2021). Одной из задач программы является автоматизация наблюдательного процесса астрономических источников на телескопах института, расположенных в Ассы-Тургеньской обсерватории и прочих наблюдательных площадках. Важным программным компонентом в создаваемой системе является так называемый планировщик наблюдений (ПН). Этот компонент позволит из получаемого списка объектов, а также их координат и времени наблюдений сортировать и создавать оптимальный план работы телескопа на конкретную ночь. Программа должна учитывать моменты восхода-захода Солнца, продолжительность утренних и вечерних сумерек, восход-заход Луны и ее фазы, а также влияние градиента от лунной засветки неба. Все программные расчеты должны проводиться без привлечения внешних интернет-ресурсов.

В качестве основного языка программирования для создания планировщика был выбран интерпретируемый высокоуровневый язык PHP (PHP, 2023), так как он является наиболее подходящим для интеграции программного обеспечения в интернет-портал Виртуальной обсерватории и взаимодействия пользователей. Основной частью планировщика наблюдений является программный блок для численных расчетов небесных координат (эфемерид) Солнца и Луны, позволяющий проводить вычисления времени восхода и захода данных объектов, времени наступления и окончания гражданских,

навигационных и астрономических сумерек, фаз Луны в зависимости от географического положения точки наблюдения на земной поверхности и часового пояса. Данный программный блок именуется Астрономическим календарем.

Материалы и основные методы

Разработка астрономического календаря осуществляется в несколько этапов. На первом этапе было создано программное обеспечение по численным расчетам звездного времени, положению Солнца и Луны на небесной сфере, а также вычислению их моментов восхода-захода и сумерек для конкретной даты и места наблюдений. Продукт разработки выложен на портале Астрофизического института (Astronomical calendar, 2022) и доступен на трех языках: казахском, русском, английском. Где любой пользователь может получить интересующие данные для любой точки земной поверхности по указанным географическим координатам и часовому поясу (см. Рисунок 1). Отображаемые данные доступны в виде электронных таблиц с возможностью сохранения в pdf-файле.

Астрофизический институт им. Фесенкова
Астрономический календарь

Координаты места
(По умолчанию координаты центра Алматы)

Широта: Долгота:

Часовой пояс от UTC:

Высота над ур. моря:

Введите год и выберите месяц
 Год:

Интересующие данные

Звездное время (уточнение) Восход, заход Солнца, сумерки Восход, заход Луны, фазы

Равноденствия и солнцестояния

5962

Рис. 1 – Интерфейс Астрономического календаря, реализованного в виде веб-приложения на сайте Астрофизического института им. В.Г. Фесенкова (Astronomical calendar, 2022).
 (Fig. 1 – Interface of the Astronomical calendar, implemented as a web application on the website of the Fesenkov Astrophysical Institute (Astronomical calendar, 2022))

Здесь мы не приводим базовые алгоритмы расчета звездного времени и юлианской даты, используемые при написании программ. Так как данные алгоритмы приводятся во многих открытых источниках и не представляют сложности для вычислений, смотрите, например (Duffett-Smith, 2011). Основной сложностью при разработке Астрономического календаря являлось отсутствие в доступных источниках высокоточных алгоритмов по расчетам моментов восхода-захода Солнца и Луны. В отличие от далеких звезд,

собственным движением которых можно пренебречь, Солнце, а тем более Луна из-за относительной близости к Земле обладают достаточно быстрым собственным движением, вследствие чего их эклиптические и экваториальные координаты существенно меняются даже на небольших интервалах времени, что затрудняет проведение вычислений их моментов восхода и захода.

Нами разработана методика для проведения расчетов моментов восхода и захода Солнца и Луны, на базе которой и был разработан Астрономический календарь, производящий расчеты с высокой точностью. Ниже приведен данный пошаговый алгоритм (также смотрите Рисунок 2):

Алгоритм для расчета времени восхода-захода Солнца и Луны

Шаг 1. Вычисления экваториальных координат Солнца и Луны на конкретный момент времени:

1.1. Вычисление положения объекта на собственной орбите в указанный момент времени. Так как Солнце и Луна не являются точечными источниками, то здесь под координатами объекта подразумеваются координаты центра солнечного (или лунного) диска.

1.2. Перевод орбитальных координат в эклиптические координаты.

1.3. Вычисление поправок на изменение наклона плоскости экватора к плоскости эклиптики в указанный момент времени. А также поправок на прецессию и нутацию земной оси.

1.4. Перевод эклиптических координат объекта в экваториальные координаты с учетом поправок, указанных в 4. На выходе получаем геоцентрические экваториальные координаты в указанную эпоху.

Шаг 2. Преобразования геоцентрических координат Солнца и Луны в топоцентрические координаты (соответствующих месту наблюдения):

2.1. Вычисление геоцентрического параллакса объекта с учетом поправок на географическую широту и высоту (над уровнем моря) положения наблюдателя.

2.2. Преобразование с помощью поправок 2.1. из геоцентрических в топоцентрические экваториальные координаты.

Шаг 3. Вычисление моментов восхода-захода Солнца и Луны на основании метода последовательных приближений.

3.1. Вычисление топоцентрических координат Солнца и Луны на начало интересующих суток (см. шаги 1–2).

3.2. Нахождение локального звездного времени моментов восхода-захода объекта (выполнение условия, чтоб высота объекта над горизонтом места наблюдения равнялась нулю градусов $h = 0$) через формулы преобразования координат от экваториальных к горизонтальным.

3.3. Преобразование локального звездного времени восхода-захода объекта в местное гражданское время.

Примечание: небесные координаты Солнца и Луны существенно меняются даже на небольших промежутках времени из-за относительной близости к Земле (в отличие от координат далеких звезд). Это означает, что на шаге 3.3

получено лишь приближенное время восход - захода так как по достижению времени 3.3 Солнце и тем более Луна успеют сместиться по своей орбите. Поэтому следующим шагом будет повторение некоторых вышеуказанных пунктов.

3.4. Переход на шаг 3.1. для повторных вычислений топоцентрических координат, но уже для моментов времени, полученные на шаге 3.3. Затем необходимо осуществить переход к шагу 3.2 для получения нового приближения локального звездного времени для моментов восхода-захода объекта. Полученное локальное звездное время необходимо снова преобразовать в гражданское время (шаг 3.3.) для получения уже уточненного гражданского времени момента восхода или захода. Эти итерации необходимо повторять до тех пор, пока не достигнется желаемая точность.

3.5. Вычисление поправки на рефракцию земной атмосферы вблизи горизонта, а также поправки на пространственный диск Солнца (Луны). Так как моменты восхода (захода) соответствуют времени, когда верхний (нижний) край диска касается плоскости горизонта. Необходимо внести поправки к моментам восхода-захода, полученных на шаге 3.4. Получаем гражданское местное время восхода – захода Солнца (Луны).

Методы вычисления эфемерид Солнца и Луны

Для вычисления положения Солнца (пункт 1.1) используется численное решение уравнения Кеплера в задаче двух тел (Duffett-Smith, 2011). В этом случае для упрощения расчетов используем относительность движения, считая Землю как бы неподвижной и находящейся в фокусе эллипса, а Солнце движущимся по этому эллипсу (эклиптики). При известных параметрах (положениях) на определенный момент времени (в данном случае на начало эпохи 2000 года) можно получить положение Солнца на любой момент времени следующим путем:

Вычисление средней аномалии Солнца на конкретный момент времени из исходных данных на эпоху J2000

Вычисление эксцентричной аномалии Солнца путем численного решения уравнения Кеплера методом последовательных приближений (Duffett-Smith, 2011).

Вычисление истинной аномалии Солнца по формуле связывающую эксцентричную и истинную аномалию, которая и соответствует орбитальной долготе Солнца. Здесь мы не учитываем влияние Луны, планет и пр., так как для вычисления моментов восхода и захода Солнца этими вещами можно пренебречь.

Вычисление положения Луны является достаточной сложной задачей ввиду существенного влияния (помимо Земли) Солнца и близлежащих планет. Для указанных вычислений был реализован алгоритм, основанный на аналитической лунной теории Брауна (Brown, 1899, 1904, 1908) и полуаналитической модели ELP-2000 (Chapront-Touze, 2000), где учтены следующие важные поправки для вычисления положения Луны на ее орбите:

1. Уравнение центра. Эта поправка учитывает эллиптичность лунной орбиты.

2. Эвекция. Основная поправка, учитывающая гравитационное влияние Солнца на параметры лунной орбиты.

3. Вариация. Это дополнение учитывает периодические процессы ускорения или замедления Луны на своей орбите под влиянием Солнца.

4. Годичное уравнение. Эта поправка учитывает небольшие периодические изменения лунной орбиты, имеющей максимум в перигее и минимум в апогее.

5. Параллактическое неравенство. Это небольшая поправка, зависящая от параллакса Солнца.

6. Поправки, учитывающие гравитационное влияние близлежащих планет на движение Луны: Венеры, Марса и Юпитера и т.д.

Для вычисления моментов восхода и захода Луны учитывался также ее горизонтальный экваториальный параллакс, обусловленный тем, что Луна находится в непосредственной близости к Земле и движется по эллиптической орбите. Вследствие этого ее угловой размер при наблюдении с Земли меняется.

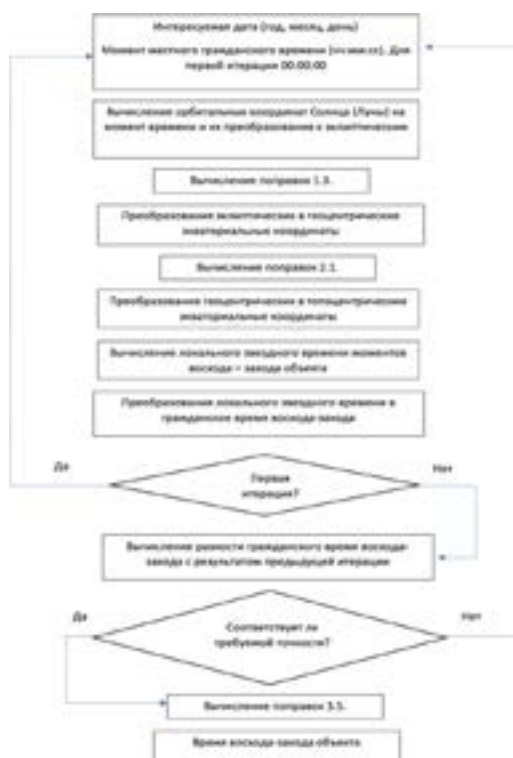


Рис. 2. – Блок-схема, отображающая алгоритм нахождения моментов восхода-захода Солнца или Луны.

(Fig. 2. - Block diagram showing the algorithm for finding the moments of sunrise and sunset of the Sun or Moon)

Обсуждения

Сравнение моментов восхода-захода Солнца и Луны, полученных в ходе реализации указанных алгоритмов с данными Астрономических ежегодников на 1989, 2022, 2023 гг. (Глебова, 1989, 2022, 2023), дают расхождение по времени не более 30 сек, что говорит о достаточно высокой точности созданного нами Астрономического календаря. Если рассматривать АК в рамках разрабатываемого планировщика наблюдений, то можно привести сравнения с существующими аналогами. На текущий момент наиболее распространенными программами для планирования астрономических наблюдений являются AstroPlanner (Astroplanne, 202г) and Astro Plan (Astroplan, 2022). Первая из них работает только под операционными системами MacOS и Windows. Также эта программа является проприетарной с закрытым исходным кодом, что не позволяет интегрировать ее в среду Виртуальной обсерватории. Существует также альтернативная бесплатная кроссплатформенная программа Astro Plan разработана на Python с открытым исходным кодом. Однако данная программа имеет некоторые недостатки:

1. Расчетное время восхода и захода Солнца отличается более чем на 3 минуты от данных Астрономических ежегодников. Для времени восхода и захода Луны расхождения могут составлять более 12 минут. Это может быть критичным при планировании наблюдений достаточно тусклых объектов.

2. Для использования программы Astro Plan требуется предварительная установка программного обеспечения и владение навыками программирования на языке Python.

Результаты

Как уже было упомянуто во Введении, Астрономический календарь является основной подпрограммой в так называемом Планировщике наблюдений (ПН), который предназначен для оптимального распределения наблюдательного времени на автоматизированных телескопах. Ниже приведен принцип работы ПН:

Планировщик наблюдений принимает на вход файл со списком объектов, содержащих следующие сведения (о каждом объекте):

Название объекта

Прямое восхождение (RA)

Склонение (DEC)

Звездная величина в V фильтре

Длительность экспозиции единичного кадра

Количество кадров

На первом этапе программа отбраковывает объекты, у которых некорректно введены какие-либо параметры. Например, когда в данных по количеству кадров присутствуют буквенные символы вместо чисел или когда координаты (DEC) указывают на то, что объект вообще невозможно наблюдать на данных широтах. При этом формируется лог ошибок, куда записываются подобные объекты с описанием ошибок.

На втором этапе проводятся вычисления по времени кульминации объектов и затем проводится предварительная сортировка по этому параметру. Затем расставляются приоритеты по времени видимости объектов. Источники, видимость которых ограничена малым временным интервалом, имеют больший приоритет по сравнению с теми объектами, видимость которых находится в относительно большом временном интервале. Объекты с большим приоритетом будут наблюдаться раньше.

На третьем этапе происходят вычисления моментов восхода-захода Солнца, а также трех типов сумерек (гражданских, навигационных и астрономических) на текущие и следующие сутки. И определяются границы астрономической ночи, указывающие на начало и конец наблюдений.

На четвертом этапе происходит вычисление высот объектов на момент начала астрономической ночи. Если объекты нисходящие и их высота на момент начала наблюдений ниже 20 градусов, то происходит их отбраковка.

На пятом этапе происходит вычисление моментов восхода-захода Луны и ее фазы, а также расчет угловых расстояний между Луной и наблюдаемыми объектами с оценками засветки фона неба. На этом этапе происходит отбраковка объектов, чьи магнитуды слабее фона неба. Для остальных объектов в списке отображается их угловое расстояние до центра лунного диска. На выходе формируется отсортированный список объектов и лог ошибок, который затем принимается на вход программой управления телескопом.

Заключение

Важной задачей автоматизации астрономических наблюдений является создание программы оптимального распределения времени наблюдений на телескопах с учетом положения Солнца, наступления и окончания сумерек, положения и фаз Луны. Важным требованием к этой программе является автономность ее работы без привлечения внешних интернет-ресурсов. Для решения этой задачи был разработан автономный астрономический календарь, позволяющий оценивать время восхода и захода Солнца, Луны (а также ее фаз), наступления и окончания трех типов сумерек (гражданских, навигационных и астрономических). Эта подпрограмма является основным шагом в автоматизации планирования астрономических наблюдений. Завершенная программа ПН позволит оптимально распределять время работы астрономических инструментов без участия человека и является важным элементом, без которого невозможна полная автоматизация наблюдательного процесса.

ЛИТЕРАТУРА

- Astronomical calendar, 2022 — https://fai.kz/calendar/calendar_eng.php.
Astroplanner, 2022 — <http://www.astroplanner.net>.
Astroplan, 2022 — <https://buildmedia.readthedocs.org/media/pdf/astroplan/latest/astroplan.pdf>.
Brown E.W., 1899 — *Brown E.W.*, Theory of the Motion of the Moon; containing a New Calculation of the Expressions for the Coordinates of the Moon in Terms of the Time. Part I, *Memoirs of the Royal Astronomical Society*, 53:39–116. No DOI, ADS: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1899MmRAS..53...39B>.

Brown E.W., 1899 — *Brown E.W.*, Theory of the Motion of the Moon; containing a New Calculation of the Expressions for the Coordinates of the Moon in Terms of the Time. Part 2, Memoirs of the Royal Astronomical Society, 53:163–202. No DOI, ADS: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1899MmRAS..53..163B>.

Brown E.W., 1904 — *Brown E.W.*, Theory of the Motion of the Moon; containing a New Calculation of the Expressions for the Coordinates of the Moon in Terms of the Time. Part 3, Memoirs of the Royal Astronomical Society, 54:1–64. No DOI, ADS: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1904MmRAS..54....1B>.

Brown E.W., 1908 — *Brown E.W.*, Theory of the Motion of the Moon; containing a New Calculation of the Expressions for the Coordinates of the Moon in terms of the time. Part 4, Memoirs of the Royal Astronomical Society, 57:51–145. No DOI, ADS: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1908MmRAS..57...51B>.

Chapront-Touze M. and Chapront J., 2000 — *Chapront-Touze M. and Chapront J.*, ELP 2000-85: a semi-analytical lunar ephemeris adequate for historical times, *Astronomy and Astrophysics*, 190:342–352, no DOI, ADS: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1988A&A...190..342C>.

Duffett-Smith P., Zwart J., 2011 — *P. Duffett-Smith, J. Zwart. Practical Astronomy with your Calculator or Spreadsheet. Fourth edition*, Cambridge University Press, United Kingdom. ISBN 978-0-521-14654-8 (in Eng.).

Meeus J., 1998 — *Meeus J. Astronomical algorithms. Second edition*. Richmond: Willmann-Bell, USA. ISBN: 0943396611 (in Eng.).

PHP <https://www.php.net/> VO project <https://fai.kz/projects/virtobs>

Глебова Н.И. 2023 — *Глебова Н.И. Астрономический ежегодник*, Санкт-Петербург, Институт прикладной астрономии РАН. DOI: 10.32876/AstroYearbook.2023.

Глебова Н.И. 2022 — *Глебова Н.И. Астрономический ежегодник*, Санкт-Петербург, Институт прикладной астрономии РАН. DOI: 10.32876/AstroYearbook.2022.

Глебова Н.И. 1989 — *Глебова Н.И. Астрономический ежегодник*, Ленинград, Институт теоретической астрономии.

REFERENCES

Astronomical calendar, 2022 — https://fai.kz/calendar/calendar_eng.php.

Astroplanner, 2022 — <http://www.astroplanner.net>.

Astroplan, 2022: <https://buildmedia.readthedocs.org/media/pdf/astroplan/latest/astroplan.pdf>

Brown E.W., 1899 — *Brown E.W.*, Theory of the Motion of the Moon; containing a New Calculation of the Expressions for the Coordinates of the Moon in Terms of the Time. Part 1, Memoirs of the Royal Astronomical Society, 53:39–116. No DOI, ADS: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1899MmRAS..53...39B>.

Brown E.W., 1899 — *Brown E.W.*, Theory of the Motion of the Moon; containing a New Calculation of the Expressions for the Coordinates of the Moon in Terms of the Time. Part 2, Memoirs of the Royal Astronomical Society, 53:163–202. No DOI, ADS: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1899MmRAS..53..163B>.

Brown E.W., 1904 — *Brown E.W.*, Theory of the Motion of the Moon; containing a New Calculation of the Expressions for the Coordinates of the Moon in Terms of the Time. Part 3, Memoirs of the Royal Astronomical Society, 54:1–64. no DOI, ADS: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1904MmRAS..54....1B>.

Brown E.W., 1908 — *Brown E.W.*, Theory of the Motion of the Moon; containing a New Calculation of the Expressions for the Coordinates of the Moon in terms of the time. Part 4, Memoirs of the Royal Astronomical Society, 57:51–145. No DOI, ADS: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1908MmRAS..57...51B>.

Chapront-Touze M. and Chapront J., 2000 — *Chapront-Touze M. and Chapront J.* ELP 2000-85: a semi-analytical lunar ephemeris adequate for historical times, *Astronomy and Astrophysics*, 190:342–352, No DOI, ADS: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1988A&A...190..342C>.

Duffett-Smith P., Zwart J., 2011 — *P. Duffett-Smith, J. Zwart. Practical Astronomy with your*

Calculator or Spreadsheet. Fourth edition, Cambridge University Press, United Kingdom. ISBN 978-0-521-14654-8 (in Eng.).

Glebova N.I., 2023 — *Glebova N.I., Astronomical Yearbook*, St.-Petersburg, The Institute of Applied Astronomy of RAS. DOI: 10.32876/AstroYearbook.2023 (in Russ.).

Glebova N.I., 2022 — *Glebova N.I., Astronomical Yearbook*, St.-Petersburg, The Institute of Applied Astronomy of RAS. DOI: 10.32876/AstroYearbook.2022 (in Russ.).

Glebova N.I., 1989 — *Glebova N.I., Astronomical Yearbook*, Leningrad, The Institute of Theoretical Astronomy (in Russ.).

Meeus J., 1998 — *Meeus J. Astronomical algorithms. Second edition*. Richmond: Willmann-Bell, USA. ISBN: 0943396611 (in Eng.).

PHP, 2023 — <https://www.php.net/>

VO project, 2021 — <https://fai.kz/projects/virtobs>

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
ISSN 2224-5227

Volume 345, Number 1 (2023), 148–163
<https://doi.org/10.32014/2023.2518-1483.191>

UDC 539.1.01

© N.O. Koylyk¹, A. Dalelkhankyzy², G.A. Kaptagay^{2,3*}, A. Kokazhaeva²,
N.B. Shambulov², 2023

¹National Center for Advanced Training "Orleu", "Republican Institute of Professional Development, Almaty, Kazakhstan;

²Kazakh national women's teacher training university, Almaty, Kazakhstan;

³Ablaikhan Kazakh university of international relations and world languages, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: gulbanu.kaptagai@mail.ru

GROUP-THEORETICAL RESEARCH COLLECTIVE STATES OF MULTI-NUCLEON NUCLEAR SYSTEMS

Koylyk N.O. — Candidate of physical and mathematical sciences. Branch of JSC "National Center for Advanced Training. "Orleu" "Republican Institute of Professional Development". 050000. Almaty, Kazakhstan

E-mail: nurgali.koilyk@mail.ru. ORCID: 0000-0002-0281-0096;

Dalelkhankyzy A. — PhD. Kazakh national women's teacher training University. Institute of Physics, mathematics and digital technologies. 050000. Almaty, Kazakhstan

E-mail: dalelkhankyzy.d@gmail.com. ORCID: 0000-0002-4974-2860;

Kaptagay G.A. — PhD. Kazakh national women's teacher training University. Institute of Physics, mathematics and digital technologies. Ablaikhan Kazakh university of international relations and world languages. 050000. Almaty, Kazakhstan

E-mail: gulbanu.kaptagai@mail.ru. ORCID: 0000-0001-5586-7339;

Kokazhaeva A.B. — Candidate of Biological Sciences. Kazakh national women's teacher training University. Institute of Physics, Mathematics and Digital Technologies. Kazakh national women's teacher training University. Institute of Physics, mathematics and digital technologies. 050000. Almaty, Kazakhstan

E-mail: kokazhaeamangul@gmail.ru. ORCID: 0000-0002-0551-3599;

Shambulov N.B. — Candidate of physical and mathematics Sciences. Kazakh national women's teacher training University. Institute of Physics, Mathematics and Digital Technologies. 050000. Almaty, Kazakhstan

E-mail: nauansh@rambler.ru. ORCID: 0000-0002-4856-8548.

Abstract. The phenomenon of nuclear interaction between the nucleons that make up the nucleus is not fully explained. These interactions are very complex, and there are a lot of parameters that describe them. However, the patterns at the lowest energy levels of the nuclei are homogeneous, simple in nature. Their properties are determined by the average potential along which the nucleons move and the effective double nucleon interaction. Consequently, the nucleons in the

nucleus are arranged along the electron shells in the atom, but, interacting with the mutual nuclear force, they paired. In the following decades, the application of the interacting boson model (IBM) to explain the properties of low-energy states of complex nuclei became a particularly suitable method for experimental physicists. The simplicity of the basic concept on which this model is based and the algebraic construction of the Hamiltonian it uses create great opportunities for studying the construction of collective excitations in nuclei. In early theories, various modes of collective excitation were associated with spherical and deformed geometry generated by the arrangement of nucleons in them in a changing shape. Now we consider such excitations as energy states generated by the interaction of bosons in the nucleus. The theory of the theory of the IBM is described in sufficient detail in various textbooks. In this article, we proceed from the simplest principle of IBM to study the construction of the lower states of heavy nuclei. In particular, we assume that the construction of these states is caused only by the interaction of s and d bosons. We have seen above that the detection operators of such bosons form a unitary group $SU(6)$. It is shown that such a unitarily symmetric Hamiltonian has three asymptotic limits that are easily diagonalized analytically. In particular, to study the structure of heavy nuclei with rotational states, we apply the limit $SU(6) \supset SU(3) \supset O(3)$. Thus, we apply this asymptotic group to a pair of isotopes of the uranium nucleus. The problem can be solved not only by group theory, but also by the method of secondary quantization. The nuclei found in this way are so simple in spectrum and wave functions that they are ideal for studying the structure of nuclei, classifying quantum states in them, and good conclusions can be drawn. Quasi-spin formalism greatly simplifies the calculation of matrix elements of operators and brings them into a form suitable for comparison with experimental data. The microscopic theory of a fermionic dynamical-symmetric model of collective excitations of nuclear systems is considered. The spectrum of states and probabilities of electromagnetic transitions are found. The theory is applied to the study of the structure of states of even isotopes of osmium $^{186,188,190,192}\text{Os}$. The obtained results are compared with the available experimental data for transition region nuclei.

Keywords: interacting boson model, boson Hamiltonian, dynamical symmetry, even isotope, seniority

© Н.О. Қойлық¹, А. Далелханқызы², Г.Ә. Қаптағай^{2,3*}, А.Б. Кокажаева²,
Н.Б. Шамбулов², 2023

¹«Өрлеу» БАҰО АҚФ Республикалық кәсіби даму институты,
Алматы, Қазақстан;

²Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан;

³Абылай хан атындағы Қазақ халықаралық қатынастар және әлем тілдері
университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: gulbanu.kaptagai@mail.ru

КӨП НУКЛОНДЫ ЯДРОЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІҢ ҰЖЫМДЫҚ КҮЙІН ТЕОРИЯЛЫҚ–ТОПТЫҚ ЗЕРТТЕУ

Қойлық Н.О. — Физика-математика ғылымдарының кандидаты. «Өрлеу» БАҰО АҚФ
Республикалық кәсіби даму институты. 050000. Алматы, Қазақстан

E-mail: nurgali.koilyk@mail.ru. ORCID: 0000-0002-0281-0096;

Далелханқызы А. — PhD. Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті. Физика,
математика және цифрлық технологиялар институты. 050000. Алматы, Қазақстан

E-mail: dalelkhankyzy.d@gmail.com. ORCID: 0000-0002-4974-2860;

Қаптағай Г.Ә. — PhD. Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті. Физика, математика
және цифрлық технологиялар институты. 050000. Алматы, Қазақстан

E-mail: gulbanu.kaptagai@mail.ru. ORCID: 0000-0001-5586-7339;

Кокажаева А.Б. — Биология ғылымдарының кандидаты. Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық
университеті. Физика, математика және цифрлық технологиялар институты. 050000. Алматы,
Қазақстан

E-mail: kokazaeamangul@gmail.ru. ORCID: 0000-0002-0551-3599;

Шамбулов Н.Б. — Физика-математика ғылымдарының кандидаты. Қазақ ұлттық қыздар
педагогикалық университеті. Физика, математика және цифрлық технологиялар институты.
050000. Алматы, Қазақстан

E-mail: nauansh@rambler.ru. ORCID: 0000-0002-4856-8548.

Аннотация. Ядро құрамына енетін нуклондар арасындағы ядролық әсерлесу құбылысы жеткілікті деңгейде толық түсіндірілмеген. Бұл әсерлесулер өте күрделі және оны сипаттайтын параметрлер өте көп. Дегенмен ядролардың ең төменгі энергетикалық деңгейлеріндегі заңдылықтары біркелкі, қарапайым сипатта. Олардың қасиеттері нуклондар қозғалатын орташа потенциал мен эффективті қос нуклондық әсерлесу арқылы анықталады. Сондықтан ядроғағы нуклондар атомдағы электрондар тәрізді қабықшалар бойынша орналасып, бірақ, өзара ядролық күшпен әсерлесіп жұпталады. Кейінгі ондаған жылдар ішінде әсерлесуші бозондар моделін (ӨБМ) күрделі ядролардың төменгі энергетикалық күйлерінің қасиеттерін түсіндіруге қолдану, әсіресе, экспериментатор-физиктер үшін өте қолайлы әдістерге айналды. Бұл модельдің негізге алатын негізгі концепциясының және онда пайдаланатын гамильтонианның алгебралық құрылысының қарапайымдылығы ядролардағы коллективтік қозулардың құрылысын зерттеуде үлкен мүмкіндіктер туғызады. Алғашқы теорияларда коллективтік қозудың түрлі модаларын олардағы нуклондардың өзгермелі

формада орналасуынан туған сфералық және түрліше деформацияланған геометриясымен байланыстырған. Енді мұндай қозуларды ӘБМ-де ядроғағы бозондар әсерлесуінен туған энергетикалық күйлер деп қарастырамыз. ӘБМ теориясының теориясы әртүрлі оқу құралдарында жеткілікті түрде баяндалған. Бұл мақалада ауыр ядролардың төменгі күйлерінің құрылысын зерттеу үшін ӘБМ ең қарапайым қағидасын негізге аламыз. Атап айтқанда, бұл күйлердің құрылысы тек s және d -бозондардың әсерлесуінен туындайды деп есептейміз. Жоғарыда мұндай бозондарды анықтайтын операторлар $SU(6)$ унитарлы топты құрайтынын көрдік. Мұндай унитарлы симметриялы гамильтонианның оңай аналитикалық жолмен диагоналданатын үш асимптотикалық шегі бар екенін көрсетіледі. Соның ішінде ротациялық күйлері бар ауыр ядролардың құрылысын зерттеуге $SU(6) \supset SU(3) \supset O(3)$ шегін пайдаланамыз. Сөйтіп осы асимптотикалық топты уран ядросының жұп изотоптарына қолданамыз. Мәселені тек топтың теория жолымен ғана емес, сонымен қатар екінші реттік кванттау әдісімен де шешуге болады. Осылайша табылған ядролардың спектрі мен толқындық функцияларының қарапайымдылығы сонша, оларды ядролар құрылысын зерттеуге, олардағы кванттық күйлерді классификациялауға өте қолайлы және жақсы қорытындылар алуға болады. Квазиспиндік формализм операторлардың матрицалық элементтерін есептеуді өте оңайлатады және оларды эксперимент берілгендерімен салыстыруға қолайлы түрге келтіреді.

Түйін сөздер: әсерлесуші бозондар моделі, гамильтониан бозоны, динамикалық симметрия, жұп изотоп, сеньиорити

© Н.О. Койлық¹, А. Далелханқызы², Г.Ә. Қаптағай^{2,3*}, А.Б. Кокажаева²,
Н.Б. Шамбулов², 2023

¹ФАО «Национальный центр повышения квалификации «Өрлеу»
Республиканский институт профессионального развития,
Алматы, Казахстан;

²Казахский национальный женский педагогический университет,
Алматы, Казахстан;

³Казахский университет международных отношений и мировых языков
имени Абылай хана, Алматы, Казахстан.
E-mail: gulbanu.kaptagai@mail.ru

ТЕОРЕТИКО–ГРУППОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЛЕКТИВНЫХ СОСТОЯНИЙ МНОГОНУКЛОННЫХ ЯДЕРНЫХ СИСТЕМ

Койлық Н.О. — кандидат физико-математических наук. ФАО «Национальный центр повышения квалификации «Өрлеу» Республиканский институт профессионального развития. 050000. Алматы, Казахстан

E-mail: nurgali.koilyk@mail.ru. ORCID: 0000-0002-0281-0096;

Далелханқызы А. — PhD. Казахский национальный женский педагогический университет. Институт физики, математики и цифровых технологий. 050000. Алматы, Казахстан

E-mail: dalelkhankyzy.d@gmail.com. ORCID: 0000-0002-4974-2860;

Қаптағай Г.Ә. — PhD. Казахский национальный женский педагогический университет. Институт физики, математики и цифровых технологий. 050000. Алматы, Казахстан

E-mail: gulbanu.kaptagai@mail.ru. ORCID: 0000-0001-5586-7339;

Кокажаева А.Б. — кандидат биологических наук. Казахский национальный женский педагогический университет. Институт физики, математики и цифровых технологий. 050000. Алматы, Казахстан

E-mail: kokazaeamangul@gmail.ru. ORCID: 0000-0002-0551-3599;

Шамбулов Н.Б. — кандидат физико-математических наук. Казахский национальный женский педагогический университет. Институт физики, математики и цифровых технологий. 050000. Алматы, Казахстан

E-mail: nauansh@rambler.ru. ORCID: 0000-0002-4856-8548.

Аннотация. Явление ядерного взаимодействия между нуклонами, входящими в состав ядра, недостаточно полно объяснено. Эти взаимодействия очень сложны, и параметров, которые их описывают, очень много. Однако закономерности на самых низких энергетических уровнях ядер носят однородный, простой характер. Их свойства определяются средним потенциалом, по которому движутся нуклоны, и эффективным двойным нуклонным взаимодействием. Следовательно, нуклоны в ядре расположены по электронным оболочкам в атоме, но, взаимодействуя с взаимной ядерной силой, спариваются. В последующие десятилетия применение модели взаимодействующих бозонов (МВБ) для объяснения свойств низкоэнергетических состояний сложных ядер стало особенно подходящим методом для физиков-экспериментаторов. Простота базовой концепции, на которой основана эта модель, и алгебраического построения

гамильтониана, который она использует, создают большие возможности для изучения построения коллективных возбуждений в ядрах. В ранних теориях различные моды коллективного возбуждения были связаны со сферической и деформированной геометрией, порожденной расположением в них нуклонов в изменяющейся форме. Теперь мы рассматриваем такие возбуждения как энергетические состояния, рожденные взаимодействием бозонов в ядре. Теория теории МВБ достаточно подробно изложена в различных учебных пособиях. В этой статье мы исходим из простейшего принципа МВБ для изучения построения нижних состояний тяжелых ядер. В частности, мы предполагаем, что построение этих состояний вызвано только взаимодействием s и d -бозонов. Выше мы видели, что операторы обнаружения таких бозонов образуют унитарную группу $SU(6)$. Показано, что такой унитарно-симметричный гамильтониан имеет три асимптотических предела, которые легко диагонализуются аналитически. В том числе для изучения строения тяжелых ядер с ротационными состояниями применяем предел $SU(6) \supset SU(3) \supset O(3)$. Таким образом, мы применяем эту асимптотическую группу к паре изотопов ядра урана. Проблему можно решить не только путем теории группы, но и методом вторичного квантования. Найденные таким образом ядра настолько просты в спектре и волновых функциях, что они идеально подходят для изучения строения ядер, классификации квантовых состояний в них и могут быть сделаны хорошие выводы. Квазиспиновый формализм очень упрощает вычисление матричных элементов операторов и приводит их в форму, подходящую для сравнения с экспериментальными данными.

Ключевые слова: модель взаимодействующих бозонов, базон гамильтониана, динамическая симметрия, четный изотоп, сеньорити

Введение

Развитие теоретической ядерной физики, построение и развитие теоретико-групповых подходов, основанных на выявлении и обобщении фермионных общих симметрических свойств, исходящих из межнуклонных сил и на единой основе целостное описание наиболее важных свойств ядер, является актуальной и важной задачей. В последние годы мы дальше развили микроскопическую фермионную модель коллективных возбуждений многонуклонных систем на основе фермионно-динамической симметрии (Бу, 1987). Операторы коррелирующих фермионных пар, из которых строятся гамильтониан-модели далее отображаются в бозонное пространство. Это дает возможность сравнить отображенный бозонный гамильтониан с гамильтонианом феноменологической бозонной теории коллективных состояний ядер.

Следует подчеркнуть, что с самого начала стало ясно, что модель взаимодействующих бозонов имеет неразрывную связь с фундаментальной

оболочечной-нуклонной структурой ядер, имеющей отношение к динамической симметрии в фермионном уровне. В то же время любые динамические симметрии, в том числе бозонные, отражающие ядерную структуру, должны определяться с прямо фермионными степенями свободы. Любая динамическая симметрия является важной особенностью многочастичных систем, описывающей различные типы движения в них.

Материалы и методы

Математически она позволяет получить как простые аналитические, так и численные решения квантовой многочастичной проблемы. Основная цель разрабатываемой темы в этом году заключается в том, чтобы полученные все динамико-симметрические свойства коллективных возбуждений в ядрах из нуклонно-оболочечной структуры отобразить в бозонное пространство. Далее предполагается приложить отображенное бозонное уравнение к изучению конкретных ядерных систем в переходной области, в частности к четным изотопом осмия. Для этого сначала мы несколько упростили сложный гамильтониан фермионной модели, определяя остаточные парные взаимодействия нуклонов только монополярными и квадрупольными членами. В качестве способа отображения фермионных уравнений в бозонное пространство использованы методы Дайсона, Беляева-Зелевинского и сеньорити (Марумора) (Жошинга, 1976).

Говоря о выборе изотопов осмия в качестве объекта первоочередного приложения теории, следует защитить, что изотопы осмия, так же как изотопы платины в ранней бозонной теории невозможно было правильно описать одним из трех асимптотических пределов, допускающих аналитические решения проблемы на собственные значения. Как известно, SU(3)-предел МВБ неприменим к четным изотопом осмия, так как этот предел требует вырождения β и γ полос, но эти полосы в изотопах осмия совершенно не удовлетворяют этому требованию. Что же касается SU(5)-предел МВБ обычно применяют только к так называемым вибрационным ядрам. А в O(6)-пределе бозонной теории отношения энергии трех уровней положительной четности $2_1, 2_2, 3_1$ в виде $(E_{2_1} + E_{2_2})/3E_{3_1}$ должны быть равным 1. А для изотопов осмия с A-186, 188, 190, 192 это соотношение равно соответственно 1,35; 1,40; 1,31; 1,28. Как видим, даже самые нижние энергетические уровни указанных ядер не могут быть хорошо воспроизведены и в этом пределе. До сих пор нет удовлетворительного описания свойств даже самых нижних уровней этих ядер. Эта область ядер интересна тем, что для низколежащих коллективных состояний четно-четных изотопов ядер наблюдаются конкуренции по многим свойствам вытянутой сплюснутой деформационной формами систем, кроме того, она обладает сильной γ -нестабильной природой. Поэтому для описания изучаемых ядер необходимо извлечь более совершенные методы расчетов структуры состояний этих ядер (Гиошио, 1980).

Сначала кратко изложим содержание самой фермионной модели коллективных возбуждений ядерных систем. Затем более подробно остановимся

на бозонное отображение простого варианта теории различными способами. Далее, такой простой гамильтониан как фермионом, так и бозонном отображенном пространствах приложим к объяснению свойств ядер сильно деформированной γ -нестабильной областей ядер.

Для этого, прежде всего, строится базис фермионной модели, выделяющий из всевозможных квантовых степеней свободы ту часть, которая определяет коррелирующие фермионные пары, связанные в полные угловые моменты 0 (S-пара) и 2 (D-пара). Предполагается, что именно эти пары в основном описывают самые нижние коллективные возбуждения. Другими словами, от полного оболочечно-модельного пространства отделяется подпространство когерентных S-D пар, определяющее поведение самых нижних возбуждений многочастичных систем. В таком обрезанном пространстве удастся разбить полный гамильтониан фермионной системы на части, соответствующие симметриям, ответственным различным типам коллективных движений нуклонов в них (Грениер, 1990).

Результаты и обсуждение

В фермионной модели динамической симметрии однонуклонный угловой момент \vec{j} разбивается в псевдоорбитальный \vec{k} и псевдоспиновый \vec{i} угловые моменты: $\vec{j} = \vec{k} + \vec{i}$. Оператор рождения нуклона $b_{km_k im_i}^+$ в k-j-схеме относится к фермионным операторам рождения a_{jm}^+ в виде:

$$a_{jm}^+ = \sum_{m_k m_i} \langle km_k im_i | jm \rangle b_{km_k im_i}^+ \quad (1)$$

Важно подчеркнуть, что такие S и D фермионные пары действительно высококогерентны, т.е. они имеют коллективную природу. Это можно увидеть после преобразования k-i-базиса обратно в оболочечно-модельный базис, используя нормирующий 9j-символ пересвязки:

$$\begin{aligned} |(k_1 k_2) K (i_1 i_2) I; r \mu \rangle &= [b_{k_1 i_1}^+ b_{k_2 i_2}^+]_{\mu}^{(KI)r} |0\rangle = \\ &= \sum_{j_1 j_2} \begin{vmatrix} k_1 & i_1 & j_1 \\ k_2 & i_2 & j_2 \\ K & I & r \end{vmatrix} [a_{j_1}^+ a_{j_2}^+]_{\mu}^r |0\rangle \end{aligned} \quad (2)$$

Высококогерентная пара, имеющая сильное конфигурационное смешивание в оболочечно-модельном базисе, здесь имеет очень простую, т.е. чистую конфигурационную структуру. Мы имеем в данном случае именно тот базис, который необходим для описания микроскопической структуры коллективных возбуждений.

Ограничимся случаем идентичных частиц, расположенных в одной большой оболочке и учтем только двухчастичные остаточные взаимодействия. Тогда эффективный гамильтониан будет иметь вид:

$$H = \sum_j \varepsilon_j a_j^+ a_j + V_p + V_Q \tag{3}$$

Где V_p и V_Q – парные и мультипольные взаимодействия, которые выражаются в самом общем виде:

$$V_p = \frac{1}{4} \sum_{\lambda_1 j_1 \lambda_2 j_2} \langle j_1 j_1 \lambda_1 | V_p | j_2 j_2 \lambda_2 \rangle [a_{j_1}^+ a_{j_1}^+]^\lambda [a_{j_2} a_{j_2}]^\lambda \tag{4}$$

$$V_Q = \frac{1}{4} \sum_{r j_1 j_2 r} \langle j_1 j_2 r | V_Q | j_1' j_2' r \rangle [a_{j_1}^+ a_{j_2}^+]^r [a_{j_1} a_{j_2}]^r \tag{5}$$

Предлагается три способа упрощения общего гамильтониана (3) для того, чтобы привести его к гамильтониану ФМДС:

- 1) Остаточное парное взаимодействие определяется в основном монопольными ($\lambda=0$) и квадрупольными ($\lambda=2$) членами.
- 2) Предполагая, что парные матричные элементы пропорциональны вырождению уровней, участвующих в парных корреляциях,
- 3) Для упрощения мультипольного взаимодействия V_Q наложим на матричные элементы V_Q , аналогичные параметризацию в виде:

$$P_\mu^r(k) = \sqrt{\Omega_{k_i/2}} [b_{k_i}^+ b_{k_i}]_\mu^r \begin{matrix} o \\ o \end{matrix}$$

$$P_\mu^r(i) = \sum_k \sqrt{\Omega_{k_i/2}} [b_{k_i}^+ b_{k_i}]_o^r \begin{matrix} o \\ \mu \end{matrix} \tag{6}$$

$$P_\mu^r(\alpha) = P_\mu^r = \sqrt{\Omega_{j_o/2}} [\alpha_{j_o}^+ \alpha_{j_o}]_\mu^r$$

При таких предположениях самый общий гамильтониан ФМДС в k -i схеме запишется в виде:

$$H_{\text{ФДСМ}} = \varepsilon_o v_o + \sum \varepsilon_{k_i} n_{k_i} + \sum_{\chi\chi'} G_O^{\chi\chi'} S^+(\chi) S(\chi') +$$

$$+ G_2 D^+ D + \sum_{r_i \chi\chi'} B_r^{\chi\chi'} P^r(\chi) P^r(\chi')$$

Таким образом, для уровней нормальной четности имеем мультипольные и парные операторы: 21 генераторов k -активной схемы $k=1$ $\{S^+, S, D_\mu^+, D_\mu, P_\mu^r \ (r = 0, 1, 2, \dots)\}$, которые образуют $Sp(6)$ алгебры $f_3=0$, и 28 генераторов i -активной схемы, где $i = 3/2 \{S^+, S, D_\mu^+, D_\mu, P_\mu^r \ (r = 0, 1, 2)\}$, которые образуют $SO(8)$ алгебру. А для уровней аномальной четности имеем $\{S^+, S, P^o\}$ генераторы, которые образуют su_2 алгебру.

Отсюда видно — ФМДС-гамильтониан отделяет S, D, s - пространство от остальной части фермионного пространства, и оно является разумным приближением для описания низколежащих коллективных состояний для четно-четных ядерных систем.

Для дальнейшего практического использования динамико-симметрической гамильтониан удобно переписать посредством независимых Казимир-операторов подгрупп, вытекающих из динамических групп.

$H_{ФДСМ}^0$ - гамильтониан имеет пять предельных случаев:

Для k - актив-схемы $v_0 = g_0 = 0 : SU_3 \otimes su_2$ - предел

$f_3=0$, $SU_2 \otimes SO_3 \otimes su_2$ - предел

Для i -актив-схемы $v_1=g_0=0$, $SO_6 \otimes su_2$ - предел

$g_6=0$, $SO_5 \otimes SO_3 \otimes su_2$ - предел

$v_1=g_0=0$, $SO_7 \otimes su_2$ - предел

Для того чтобы понять физические содержания этих пяти симметрических пределов рассматриваемой модели анализируем свойства простейшего ФМДС -гамильтониана

$$H_6 = \varepsilon n - G_0 n(n-1) / 4 + G_0 [G_{SU_2}^T - \Omega(\Omega + 2) / 4] + B_2 C_{SU_3} - (3B_2 / 8) L^2$$

$$H_8 = \varepsilon n - G_0 n(n-1) / 4 + G_0 [G_{SU_2}^T - \Omega(\Omega + 2) / 4] + B_2 C_{SO_6} - B_2 C_{SO_5} \quad (7)$$

где $\varepsilon = G_0(2\Omega + 1) / 4$.

Из этих двух равенств видно, что в них доминирует монопольное спаривание (формально вытекает при $B_2=0$), которое ведет к SU_2^T -симметрии. Такая симметрия, как известно, описывает вибрационный спектр системы. В случае, когда доминирует квадруполь-квадрупольное взаимодействие (оно

имеет место когда $G_0=0$, или мало), тогда получаем SU_3 -предел к-активной теории и SO_6 -предел i-активной теории. SU_3 -предел описывает спектр аксиально-симметрического ротора, тогда как SO_6 -предел описывает спектры и электромагнитные переходы γ -нестабильных вращательных состояний многоуклонных систем.

$SO_6 \otimes su_2$ предел ФМДС описывает γ -нестабильное поведение ядерных систем. Физическое условие для появления этого предела очень похоже на условие рождения SU_3 симметрии. Именно такой предел может появиться в SU_8 цепочке. Энергия SO_6 предела при $\mu=0$ равна:

$$E[N_1(\sigma\tau)n_\Delta L] = E_0(N_1) - A\sigma(\sigma + 4) + \\ + B\tau(\tau + 3) + CL(L + 1) \quad (8)$$

где $A = G_2 - B_2$; $B = B_3 - B_2$; $C = (B_1 - B_3) / 5$

σ, τ -квантовые числа представления $SO_6 \supset SO_5$ цепочки; n_Δ -дополнительное квантовое число. Для данного значения $N_1 (\leq \Omega/2)$ получаем:

$$\sigma = N_1, N_1 - 2, N_1 - 4, \dots, 0 \text{ или } 1; \quad \tau = 3n_\Delta + \lambda = \sigma, \sigma - 1, \sigma - 2, \dots, 0 \\ L = \lambda, \lambda + 2, \dots, 2\lambda - 2, 2\lambda$$

Величину N_1 можно определить из минимума энергии основного состояния как в случае ротационного, так и в случае γ -нестабильного предела (8). Например для γ -нестабильного предела $E_{g.s}(N_1) = E_0(N_1) - AN_1(N_1 + 4)$, для ротационного предела $E_{g.s}(N_1) = E_0(N_1) - \beta C(2N_1 O)$.

Из условия $\frac{\partial}{\partial N_1} E_{g.s}(N_1) |_{N_1=N_{1g}} = 0$ находим:

$$a = \frac{2\Delta\varepsilon + \eta_1 - \eta_0 + 4A}{4(\eta_1 + \eta_0) - 2A}, \quad b = \frac{2\eta_0}{2(\eta_1 + \eta_0) - A} \text{ для } SO_6\text{-предела} \quad (9)$$

$$a = \frac{2\Delta\varepsilon + \eta_1 - \eta_0 + 6\beta}{4(\eta_1 + \eta_0) - 8\beta}, \quad b = \frac{4\eta_0}{2(\eta_1 + \eta_0) - 4\beta} \text{ для } SU_3\text{-предела} \quad (10)$$

SO_6 -предел ФМДС как по спектру, так и по γ -переходам идентичны с O_6 -пределом МВБ.

Здесь также интересно заметить, что параметры А и В имеют примерно одинаковые и положительные значения, т.к. в этом пределе также превалирует квадруполь-квадрупольное взаимодействие которое является притягательной силой (т.е. $|B_2| > |B_1|$, $|B_2| > |G_2|$, $B_2 < 0$).

А это условие $A=B$ хорошо известно из МВБ.

Таким образом, ФДДС в своем γ -нестабильном пределе дает главным образом микроскопическое обоснование МВБ.

Проведено дальнейшее развитие микроскопической модели структуры ядер, исходящее из фермионной динамической симметрии. Все ядерные динамические симметрии, присущие феноменологической бозонной модели, выводятся из более фундаментальной фермионной основы в ФДДСМ. Как видно выше, выражения для энергии в каждом предельном случае в ФДДСМ без разорванных пар сопоставляются асимптотикой МВБ. Некоторые отличия в выражениях для энергии и вероятностей переходов между состояниями обусловлены Паули-эффектом и оболочечной структурой систем.

Предсказан новый вибрационно-симметрический предел SO_7 , который проявляется, по-видимому, у ядер с симметрией более сложной формы, и он осуществляется в промежутке симметрий SO_5 и SO_6 .

Обычно полагают, что нейтрон-протонное взаимодействие ответственно за ядерную деформацию разной формы. Как мы видим из вышеизложенного, ротационное движение обусловлено как симметрическими свойствами валентных оболочек, так и нейтрон-протонным взаимодействием валентных нуклонов. Именно из Sp_6 -симметрии вытекает SU_3 -подсимметрия, в SO_8 -симметрии даже сильное протон-нейтронное взаимодействие не приводит к SU_3 -пределу.

Наличие разорванных пар в ФДДСМ дает возможность описать ядерную структуру, не присущую для бозонной модели. Имеется также возможность микроскопически описать высокоспиновые состояния.

Хотя в основном говорили о состояниях четно-четных ядер, гамильтониан ФДДСМ способен описать нечетные, нечетно-нечетные ядра. Другими словами, ФДДСМ, в противовес к МВБ, может описать единым образом нижние возбужденные состояния любой многонуклонной системы.

Аналитические выражения предельных ситуаций можно использовать для тестирования корректных физических свойств систем. Такие пределы можно использовать для классификационных схем, которые полезны для понимания глобальной систематики ядерной структуры. Если простые предельные случаи (соответствующие $k-i$ конфигурациям) в состоянии описать основные свойства коллективных движений в ядрах, то можно заключить, что соответствующий симметрический оболочечно-модельный обрезанный базис является достаточно хорошим базисом теории. Тогда можно брать более разумное эффективное взаимодействие, которое включает все необходимые нарушающие симметрии члены, и выполнить численную диагонализацию внутри обрезанного базиса. Вычисления показывают, что выбор эффективного взаимодействия в наших случаях вполне благоприятен для обрезанного $k-i$ - базиса. Удачный выбор эффективных взаимодействий имеет важную роль в ФДДСМ.

Проведем приложение отображенного бозонного подхода к реальным

системам. Для этого рассматривается структура состояний четных и тяжелых изотопов осмия 186, 188, 190, 192 осмия.

Как мы уже отмечали, большое внимание обращается к экспериментальному и к теоретическому изучению структуры изотопов осмия, так как эти ядра также относятся к сложной области так называемой γ -нестабильной (Гастен, 1978). Структуры состояний этих ядер представляют собой смесь различных форм движения нуклонов в них. Поэтому асимптотические пределы модели взаимодействующих бозонов, а также теории бозонного разложения не могли удовлетворительно описать свойств даже самых нижних уровней ядер. Поэтому для анализа структуры изотопов осмия точно также как изотопов платины была проведена точная диагонализация полного гамильтониана $SU(6)$ -симметричной бозонной модели (Бактыбаев, 2005). В данной работе мы обсудим результаты расчетов структуры уровней тяжелых изотопов осмия на основе отображенного бозонного гамильтониана методами Беляева-Зелевинского (БЗ) и сеньорити А. Их сравним с такими же расчетами точной диагонализации $SU(6)$ -симметричного гамильтониана МВБ. А также по методам бозонного разложения (ВЕТ), проведенного Тамурой и др. (Тамура, 1980).

В таблицах 1, 2 даны сравнительные значения энергии уровней основной к γ -полос, рассчитанных по методам ВЕТ, $SU(6)$ -симметричного МВБ и бозонно-отраженного гамильтониана Беляева-Зелевинского и сеньорити А. Все они сравнены с их экспериментальными значениями.

Таблица 1 – Сравнение расчетных экспериментальных α, β, γ -полос спектр состояний ядра $^{186}\text{Os}, ^{188}\text{Os}$

$I\pi$	ВЕТ	Полный МВБ	Отр. ФДСМ	эксп	Отр. сень
0_1^+	0	0	0	0	0
2_1^+	0,16	0,18	0,17	0,17	0,17
4_1^+	0,44	0,44	0,44	0,43	0,48
2_2^+	0,64	0,74	0,74	0,76	0,78
6_1^+	0,88	0,85	0,85	0,86	0,91
3_1^+	0,75	0,88	0,88	0,89	0,93
4_2^+	0,94	1,06	1,06	1,08	1,12
5_1^+	1,14	1,25	1,25	1,28	1,32
8_1^+	1,32	1,41	1,39	1,43	1,49
6_2^+	1,25	1,47	1,45	1,49	1,54
7_1^+	1,46	1,62	1,64	1,70	1,74
8_2^+	-	1,87	1,88	-	1,92
10_1^+	1,82	1,96	2,02	2,08	2,12
12_1^+	-	2,61	2,64	2,66	2,71
12_2^+	-	2,82	2,80	-	2,87
14_1^+	-	3,30	3,27	3,34	3,41
14_2^+	-	3,32	3,29	3,52	3,60
16_1^+	-	4,00	3,92	3,90	4,01
18_1^+	-	4,62	4,50	4,45	4,64

$I\pi$	ВЕТ	Полный МВБ	Отр. БЗ	эксп	Отр. Сень
0_1^+	0	0	0	0	0
2_1^+	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
4_1^+	0,42	0,44	0,43	0,41	0,46
2_2^+	0,68	0,64	0,63	0,61	0,71
3_1^+	0,86	0,80	0,81	0,78	0,84
6_1^+	0,89	0,88	0,90	0,92	0,97
4_2^+	0,95	0,98	1,0	0,96	1,04
5_1^+	1,22	1,19	1,18	1,17	1,24
6_2^+	1,37	1,42	1,42	1,40	1,48
8_1^+	1,40	1,45	1,46	1,47	1,51
10_1^+	1,95	2,08	2,10	2,13	2,20
12_1^+	-	-	2,76	-	2,86

Таблица 2 – Сравнение расчетных экспериментальных g, β, γ -полос спектр состояний ядра $^{188}\text{Os}, ^{190}\text{Os}$

I^π	ВЕТ	Полный МВБ	Отр. БЗ	эксп	Отр. Сень
0_1^+	0	0	0	0	0
2_1^+	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
4_1^+	0,54	0,53	0,53	0,52	0,56
2_2^+	0,61	0,57	0,58	0,58	0,63
3_1^+	0,81	0,74	0,76	0,79	0,80
4_2^+	0,98	0,92	0,93	0,94	1,01
6_1^+	1,05	1,04	1,03	1,0	1,10
5_1^+	1,24	1,18	1,20	1,21	1,26
6_2^+	1,38	1,45	1,44	1,43	1,48
8_1^+	1,62	1,64	1,63	1,61	1,66
8_2^+	-	2,06	2,03	2,01	2,10
10_1^+	2,24	2,35	2,30	2,33	2,40
12_1^+	-	-	2,71	-	2,78

I^π	ВЕТ	Полный МВБ	Отр. БЗ	эксп	Отр. Сень
0_1^+	0	0	0	0	0
2_1^+	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
2_2^+	0,54	0,46	0,50	0,52	0,55
4_1^+	0,58	0,54	0,55	0,57	0,59
3_1^+	0,73	0,72	0,70	0,67	0,74
4_2^+	0,92	0,93	0,90	0,91	0,96
6_1^+	1,08	1,01	1,02	1,07	1,16
5_1^+	1,16	1,17	1,14	1,12	1,21
6_2^+	1,32	1,46	1,46	1,44	1,48
8_1^+	1,68	1,50	1,61	1,66	1,68
7_1^+	1,58	1,74	1,73	1,72	1,78
8_2^+	-	2,04	2,02	1,98	2,06
10_1^+	-	-	2,54	-	2,74

Как видно из таблиц, описания по методам БЗ и сеньорити А, близко соответствующим величинам энергии по SU(6)-симметриям МВБ, и они очень близки к их экспериментальным значениям, хотя метод сеньорити А дает величины отличные от эксперимента на 15 %–20 %. Видно, что результаты по методу ВЕТ также несколько хуже, примерно на 15 % (Тамура, 1980). Описание по отраженной БЗ-теорией значительно лучше для изотопа 186-осмия, а для изотопа 192-осмия несколько хуже. Такая ситуация, по-видимому, объясняется более сильной коллективизацией уровней в легких изотопах осмия (Бактыбаев, 2014). С ростом атомного веса у изотопов осмия уменьшается число нейтронных дырок, что приводит к уменьшению деформации ядра.

Заключение

Видно, что теория описывает основную полосу состояний с довольно высокими спинами. Что касается γ -полосы, то теория правильно передает понижение начального уровня γ -полосы 2_2^+ , а также увеличение расстояния между уровнями 2_2^+ и 3_1^+ с ростом А. В изотопах платины мы имели противоположные тенденции.

Из экспериментального спектра видно, что хотя основная полоса в этих

ядрах очень близка по своему поведению к ротационной, γ -полоса ведет себя сложным образом, а именно, расстояния между уровнями в ней изменяются нерегулярно, отклоняется от ротационной закономерности. С таким нерегулярным положением уровней в γ -полосе наши вычисления и МВБ – описание хорошо согласуются.

ЛИТЕРАТУРА

Ж.Л. Ву, Д.Х. Фенд, Х.Г. Чен, Ж.К. Чен, М.В. Гнидри, 1987 — *Ж.Л. Ву, Фенд Д.Х., Чен Х.Г., Чен Ж.К., М.В. Гнидри*. Фермионно-динамическая симметричная модель ядра: Остов, гамильтониан и симметрия // *Phys. Rev. C.* – Vol. 36. – Pp. 1157–1180.

К.К. Бактыбаев, Н.О. Койлык, К.Е. Раманкулов, 2005 — *К.К. Бактыбаев, Н.О. Койлык, К.Е. Раманкулов*. Фермионная динамико-симметрическая модель коллективных возбуждений ядер // *Вестник КазНУ. Сер. физ.* – 2005. – №2. – С. 79–86.

Р.Ф. Гастен, Ж.А. Гизевский, 1978 — *Р.Ф. Гастен, Ж.А. Гизевский*. O(6)-ротатор перенос в ядре Pt-Os // *Nucl. Phys.* – Vol. A309. – Pp. 177–184.

Н. Тамура, К.И. Уикс, Т. Кишимова, 1980 — *Н. Тамура, К.И. Уикс, Т. Кишимова*. Анализ коллективных движений ядер в терминах теории расширения бозона // *Nucl. Phys.* – Vol. A.347. – Pp. 359–387.

К.К. Бактыбаев, А. Далелханкызы, Н.О. Койлык, К.Е. Раманкулов, М.К. Бактыбаев, 2014 — *К.К. Бактыбаев, А. Далелханкызы, Н.О. Койлык, К.Е. Раманкулов, М.К. Бактыбаев*.

Описание коллективных состояний изотопов 102,104,106,108,110Pd в нуклонно-парной модели // *Advanced Studies in Theoretical Physics*, (10), стр. 475.

Н. Джосинга, 1976 — *Н. Джосинга*. Фермионная динамико-симметрическая модель коллективных возбуждений ядер // *Theor. Phys., Suppl.*, №125 p 65.

Ж.Н. Гиошинго, 1980 — *Ж.Н. Гиошинго*. Динамическая симметрия и структура коллективных состояний с фермионного уровня сбоводы // *Ann. Phys.* – Vol. 126. – Pp. 234–252.

М. Грениер, Р. Шильд, Р. Хэрман, 1998 — *М. Грениер, Р. Шильд, Р. Хэрман* // *Phys.Rev.* – Vol. 12. – Pp. 202–212.

REFERENCES

Wu Ch.L., Fend D.H., Chen X-G., Chen J.Q., Gnidry M.W., 1987 — *Wu Ch.L., Fend D.H., Chen X-G., Chen J.Q., Gnidry M.W.* Fermion dynamical symmetry model of nuclei: Basis, Hamiltonian, and symmetries // *Phys. Rev. C.* – 1987. – Vol. 36. – Pp. 1157–1180.

Baktybayev K., Koilyk N., Ramankulov K., 2005 — *Baktybayev K., Koilyk N., Ramankulov K.* Fermionic dynamical-symmetric model of collective excitations of nuclei // *Bulletin of KazNU. Physics serie.* – № 2. – Pp. 79–86.

Casten R.F., Cizewski J.A., 1978 — *Casten R.F., Cizewski J.A.* The O(6)-rotor transition in Pt — Os nuclei // *Nucl. Phys.* –Vol. A309. – Pp. 177–184.

Tamura N., Weeks K.I., Kishimova T., 1980 — *Tamura N., Weeks K.I., Kishimova T.* Analysis of nuclear collective motions in terms of the boson extension theory // *Nucl. Phys.* –Vol. A.347. –Pp. 359–387.

Baktybayev K., Dalelkhankyzy A., Koilyk N., Ramankulov K., Baktybayev M.K., 2014 — *Baktybayev K., Dalelkhankyzy A., Koilyk N., Ramankulov K., Baktybayev M.K.* Description of collective states of 102,104,106,108,110Pd isotopes in Nucleon-pair shell model // *Advanced Studies in Theoretical Physics*, (10), P. 475.

N. Joshinaga et.al, 1976 — *N. Joshinaga et.al*, *Progr. Theor. Phys. Suppl.* № 125. P. 65.

Gioncchio J.N., 1980 — *Gioncchio J.N.* Dynamical symmetries and structure of the collective states from the fermion degrees of freedom // *Ann. Phys.* – Vol. 126. – Pp. 234–252.

M. Grenier, R. Schild, R. Herman, 1998 — *M. Grenier, R. Schild, R. Herman* // *Phys.Rev.* – Vol. 12. – Pp. 202–212.

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY
OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
ISSN 2224-5227
Volume 345, Number 1 (2023), 164–179
<https://doi.org/10.32014/2023.2518-1483.192>

UDC 539.3

© **A. Marasulov**^{1*}, **I.I. Safarov**², **M.Kh. Teshae**^{3,4,5}, **G.A. Abdraimova**⁶,
A.S. Tolep¹, 2023

¹Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University,
Turkestan, Kazakhstan;

²Tashkent Institute of Chemical Technology, Tashkent, Uzbekistan;

³Bukhara engineering-technological institute, Bukhara, Uzbekistan;

⁴Bukhara Branch of Mathematics Institute named after V.I. Romanovskiy of AS
RUz., Bukhara, Uzbekistan;

⁵Bukhara branch of the Tashkent Institute of Irrigation and Mechanization
Engineering in Agricultural, Bukhara, Uzbekistan;

⁶Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev,
Almaty, Kazakhstan.

E-mail: abdurakhim.marassulov@ayu.edu.kz

PROPERTIES OF SURFACE WAVES IN A VISCOELASTIC HOLLOW CYLINDER

Marasulov A. — Doctor of Technical Sciences, Faculty of Engineering. Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan, 161200

E-mail: abdurakhim.marassulov@ayu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7127-3987>;

Safarov I.I. — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Faculty of Management. Tashkent Institute of Chemical Technology. Tashkent, Uzbekistan. 100011

E-mail: safarov54@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0983-8451>;

Teshae **M.Kh.** — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Faculty of Cotton Technology. Bukhara Engineering-Technological Institute. Bukhara, Uzbekistan. 200117. Chief Scientific Officer, Bukhara Branch of Mathematics Institute named after V.I. Romanovskiy of AS RUz. Bukhara, Uzbekistan, 105017. Faculty of Agricultural Machinery. Bukhara branch of the Tashkent Institute of Irrigation and Mechanization Engineering in Agricultural. Bukhara, Uzbekistan. 200109

E-mail: muhsin_5@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1893-7902>;

Abdraimova G.A. — Candidate of Technical Sciences, Institute of Energy and Mechanical Engineering. Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev. Almaty, Kazakhstan, 050060

E-mail: gulnara409@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7495-358X>;

Tolep A.S. — Candidate of Technical Sciences, Faculty of Engineering. Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University. Turkestan, Kazakhstan. 161200

E-mail: abdimuhan.tolep@ayu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0089-2446>.

Abstract. The problems of propagation of natural waves in a viscoelastic hollow cylinder are considered on the basis of the methods of the theory of viscoelasticity

and mathematical physics. The study of the existence of the natural frequency and shape of vibrations depending on geometric parameters is the most interesting problem of stationary dynamics of an elastic body. The main problem is the detection of new types of free waves that propagate in extended bodies with variable cross-sections. And also the study of the dependence of the level of dissipative properties of the system on its parameters is the main content of this work. The aim of the work is to develop a methodology and algorithm, analyze the characteristics of normal damped waves in the low and high frequencies, study the features of the formation of surface waves, and analyze the kinematic characteristics of these waves in a wide frequency range (wave numbers). The dynamic behavior of the cylinder is described by integro-differential equations of the mechanics of deformable bodies. After applying the Filatov freezing method, differential equations with complex coefficients are obtained. The spectral problem is reduced to solving a system of ordinary differential equations of the first order. The solution of a system of ordinary differential equations is expressed by cylindrical Bessel and Hankel functions. The frequency equations are solved numerically by the Muller and Gauss methods. The variation of the natural frequency and phase velocity depending on the wave number has been studied. It is found that volumetric seismic waves undergo a small dispersion. However, the dispersion is significant for surface waves and some other phenomena. Consideration of the rheological properties of the material is accompanied by wave dispersions. The mechanisms by which the energy of elastic waves is converted into heat are not entirely clear. Various loss mechanisms have been proposed, but not one of them fully meets all the requirements. This process is investigated in the present work. It is found that for a hollow cylinder there are two types of low phase velocities that correspond to surface waves.

Keywords: natural waves, hollow cylindrical body, stress, spectral problem, natural frequency, phase velocity

© А. Марасулов^{1*}, И.И. Сафаров², М.Х. Тешаев^{3,4,5}, Г.А. Абдраимова⁶,
Ә.С. Төлеп¹, 2023

¹Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті,
Түркістан, Қазақстан;

²Ташкент химиялық-технологиялық институты, Ташкент, Өзбекстан;

³Бұхара инженерлік-технологиялық институты, Бұхара, Өзбекстан;

⁴В.И. Романовский атындағы Математика институтының Бұхара бөлімшесі,
Бұхара, Өзбекстан;

⁵Ташкент суару және ауыл шаруашылығын механикаландыру институтының
Бұхара филиалы, Бұхара, Өзбекстан;

⁶Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: abdurakhim.marassulov@ayu.edu.kz

ТҰТҚЫР-СЕРПІМДІ ҚУЫС ЦИЛИНДРДЕГІ БЕТТІК ТОЛҚЫНДАРДЫҢ ҚАСИЕТТЕРІ

Марасулов А. — техника ғылымдарының докторы, Инженерия факультеті. Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті. Түркістан, Қазақстан. 161200

E-mail: abdurakhim.marassulov@ayu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7127-3987>;

Сафаров И.И. — физика-математика ғылымдарының докторы, Менеджмент факультеті. Ташкент химиялық-технологиялық институты. Ташкент, Өзбекстан, 100011

E-mail: safarov54@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0983-8451>;

Тешаев М.Х. — физика-математика ғылымдарының докторы, Мақта технологиясы факультеті. Бұхара инженерлік-технологиялық институты. Бұхара, Өзбекстан, 200117; бас ғылыми қызметкер, В.И. Романовский атындағы математика институтының Бұхара бөлімшесі. Бұхара, Өзбекстан. 105017; Ауылшаруашылық машиналары факультеті, Ташкент суару және ауыл шаруашылығын механикаландыру институтының Бұхара филиалы. Бұхара, Өзбекстан. 200109

E-mail: muhsin_5@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1893-7902>;

Абдраимова Г.А. — техника ғылымдарының кандидаты, Энергетика және машина жасау институты. Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан. 050060

E-mail: gulnara409@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7495-358X>;

Төлеп Ә.С. — техника ғылымдарының кандидаты, Инженерия факультеті. Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті. Түркістан, Қазақстан. 161200

E-mail: abdimuhan.tolep@ayu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0089-2446>.

Аннотация. Тұтқыр серпімді қуыс цилиндрде меншікті толқындардың таралу мәселелері тұтқыр-серпімділік теориясы мен математикалық физика әдістерінің негізінде қарастырылады. Геометриялық параметрлерге байланысты тербелістердің меншікті жиілігі мен формасының болуын зерттеу серпімді дененің стационарлық динамикасының ең қызықты мәселелерінің бірі болып табылады. Негізгі мәселе - көлденең қималары өзгермелі ұзартылған денелерде таралатын еркін толқындардың жаңа түрлерін анықтау. Сондай-ақ, жүйенің диссипативті қасиеттері деңгейінің оның параметрлеріне тәуелділігін зерттеу бұл жұмыстың негізгі мазмұны болып табылады. Жұмыстың мақсаты — әдістеме мен алгоритмді әзірлеу, төмен және жоғары жиіліктердегі қалыпты өшпелі толқындардың сипаттамаларын талдау, беттік толқындардың пайда болу ерекшеліктерін зерттеу және жиіліктердің (толқын сандарының)

кең диапазонында осы толқындардың кинематикалық сипаттамаларын талдау. Цилиндрдің динамикалық әрекеті деформацияланатын денелер механикасының интегралды-дифференциалдық теңдеулерімен сипатталады. Филатовтың тоқтату әдісін қолданғаннан кейін комплекс коэффициенттері бар дифференциалдық теңдеулер алынады. Спектрлік есеп бірінші ретті қарапайым дифференциалдық теңдеулер жүйесін шешуге келтірілді. Қарапайым дифференциалдық теңдеулер жүйесінің шешімі Бессель мен Ханкельдің цилиндрлік функцияларымен өрнектеледі. Жиілік теңдеулері Муллер және Гаусс сандық әдістерімен шешіледі. Толқын санына байланысты меншікті жиілік пен фазалық жылдамдықтың өзгеруі зерттелді. Дененің сейсмикалық толқындары шамалы дисперсияға ұшырайтыны анықталды. Дегенмен, дисперсия беттік толқындар және кейбір басқа құбылыстар үшін көбірек. Материалдың реологиялық қасиеттерін есепке алу толқындардың дисперсиясымен бірге жүреді. Серпімді толқындар энергиясының жылуға айналу механизмдері толығымен анық емес. Шығындардың әртүрлі механизмдері ұсынылған, бірақ олардың ешқайсысы барлық талаптарға толық жауап бермейді. Бұл процесс осы жұмыста зерттелген. Қуыс цилиндр үшін беттік толқындарға сәйкес келетін төмен фазалық жылдамдықтардың екі түрі бар екені анықталды.

Түйін сөздер: меншікті толқындар, қуыс цилиндрлік дене, кернеу, спектрлік есеп, меншікті жиілік, фазалық жылдамдық

© **А. Марасулов^{1*}, И.И. Сафаров², М.Х. Тешаев^{3,4,5}, Г.А. Абдраимова⁶,
А.С. Тулеп¹, 2023**

¹Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, Туркестан, Казахстан;

²Ташкентский химико-технологический институт, Ташкент, Узбекистан;

³Бухарский инженерно-технологический институт, Бухара, Узбекистан;

⁴Бухарское отделение института Математики им. В.И. Романовского,
Бухара, Узбекистан;

⁵Бухарский филиал Ташкентского института ирригации и механизации
сельского хозяйства, Бухара, Узбекистан;

⁶Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан.

E-mail: abdurakhim.marassulov@ayu.edu.kz

СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН В ВЯЗКО-УПРУГОМ ПОЛОМ ЦИЛИНДРЕ

Марасулов А. — доктор технических наук, факультет Инженерии. Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави. Туркестан. Казахстан. 161200

E-mail: abdurakhim.marassulov@ayu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7127-3987>;

Сафаров И.И. — доктор физико-математических наук, факультет Менеджмента. Ташкентский химико-технологический институт. Ташкент. Узбекистан, 100011

E-mail: safarov54@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0983-8451>;

Тешаев М.Х. — доктор физико-математических наук, факультет Технологии хлопка. Бухарский инженерно-технологический институт. Бухара. Узбекистан. 200117; главный научный сотрудник, Бухарское отделение института Математики им. В.И. Романовского. Бухара. Узбекистан. 105017; факультет Сельско-хозяйственных машин, Бухарский филиал Ташкентского института ирригации и механизации сельского хозяйства. Бухара. Узбекистан. 200109

E-mail: muhsin_5@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1893-7902>;

Абдраимова Г.А. — кандидат технических наук. Институт энергетики и машиностроения. Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева. Алматы. Казахстан. 050060

E-mail: gulnara409@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7495-358X>;

Тулеп А.С. — кандидат технических наук, факультет Инженерии. Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави. Туркестан. Казахстан. 161200

E-mail: abdimuhan.tolep@ayu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0089-2446>.

Аннотация. Рассматриваются вопросы распространения собственных волн в вязкоупругом полем цилиндре на основе методов теории вязкоупругости и математической физики. Исследование существования собственной частоты и формы колебаний в зависимости от геометрических параметров представляют наиболее интересную проблему стационарной динамики упругого тела. Основная проблема заключается в обнаружении новых типов свободных волн, которые распространяются в протяженных телах с переменными поперечными сечениями. А также исследование зависимости уровня диссипативных свойств системы от ее параметров составляет основное

содержание работы. Целью работы является разработка методики и алгоритма, анализ характеристик нормальных затухающих волн в области низких и высоких частот, изучение особенностей формирования поверхностных волн, анализ кинематических характеристик этих волн в широком диапазоне частот (волновых чисел). Динамическое поведение цилиндра описывается интегро-дифференциальными уравнениями механики деформируемых тел. После применения метода замораживания Филатова, получаются дифференциальные уравнения с комплексными коэффициентами. Спектральная задача сводится к решению системы обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка. Решение системы обыкновенных дифференциальных уравнений выражаются цилиндрическими функциями Бесселя и Ханкеля. Частотные уравнения решаются численно методами Мюллера и Гаусса. Исследовано изменение собственной частоты и фазовой скорости в зависимости от волнового числа. Найдено, что объемные сейсмические волны претерпевают малую дисперсию. Однако, дисперсия значительна для поверхностных волн и некоторых других явлений. Учет реологических свойств материала сопровождается дисперсиями волн. Механизмы, посредством которых энергия упругих волн преобразуется в тепло, не совсем ясны. Предложены различные механизмы потерь, но не один из них не отвечает полностью всем требованиям. Этот процесс исследуется в настоящей работе. Обнаружено, что для пологого цилиндра существуют два вида низких фазовых скоростей, которые соответствуют поверхностным волнам.

Ключевые слова: собственные волны, полое цилиндрическое тело, напряжение, спектральная задача, собственная частота, фазовая скорость

Введение

Распространение деформируемых волн в длинных телах различной конфигурации исследовано в работах (Rayleigh, 1885/1886; Фарнелл, 1973; Викторов, 1979). В этих работах в основном рассматривается распространение упругих волн в волноводах плоского (или цилиндрического) поперечного сечения. В этих работах приведены результаты, полученные Похгаммером. В 1876 г. были получены трансцендентные уравнения, описывающие фазовые скорости от волнового числа (или дисперсионное уравнение). Распространение упругих волн в стержне кругового сечения рассмотрено в работах Кри. В работах Дж.В. Стретга (в 1885 г.) рассмотрено распространение волн в упругом полупространстве, названная впоследствии его именем.

Дисперсионные характеристики характеризуют волновое движение в протяженных телах, которые описывают распространение свободных волн при любом значении частоты (имеющих нулевые частоты запертия) (Oliver, 1959; Owen, 1964).

Поскольку фазовые скорости распространения волн в слое близки к скорости волны Рэлея, но всегда различны, то в общем случае напряженно-деформированное состояния в слое формируются от поверхностной волна.

(Uberal, 1973; Гринченко, 1981). Максимальные амплитуды напряжений и перемещений возникают на поверхности слоя или полупространстве (Гринченко, 1984; Комиссарова, 1990) и в процесс деформации происходит обмен энергией между поверхностями. Дисперсионное уравнение сплошного упругого цилиндра имеет (существует) только один корень и то с нулевой частотой записания (Гринченко и др., 2000; Комиссарова, 2002). Рэлеевские волны не затухают, т.е., не происходит потеря энергии. Поэтому рэлеевские волны являются бездисперсионными (их фазовая скорость вдоль поверхности не зависит от частоты) и в котором упругая среда однородная и изотропная. Рэлеевские волны являются незатухающими, бездисперсионными (их фазовая скорость вдоль поверхности не зависит от частоты) и существуют во всем диапазоне частот, в котором упругую среду, заполняющую полупространство, можно считать однородной и изотропной (Гринченко, 1986). Дисперсионное уравнение и свойства их корней, описывающие нормальных волн в сплошном цилиндре и полом цилиндре существенно отличаются. В работах (Rosenberg и др., 1977; Thurston, 1978) приведен качественный анализ дисперсионных соотношений.

Дисперсионные характеристики упругих волн в полом цилиндре со свободными поверхностями зависят от физико-механических свойств материала, радиуса кривизны и толщины стенки цилиндра. Влияние этих параметров на поведение собственных волн в полом цилиндре рассмотрено в работах (Гринченко, 1978; Сафаров, 2011). Исследование дисперсионных соотношений для цилиндрических волноводов основано на специальных функциях. Указанное обстоятельство позволяет подойти к более детальному изучению формы колебаний и соответствующих характеристик нормальных волн в полом деформируемом упругом цилиндре.

Целью данной работы является разработка методики и алгоритм анализа характеристик нормальных волн в области низких (или высоких) частот с учетом вязкоупругих свойств полого цилиндра.

Методы

Постановка задачи и методики решения

Рассматривается распространение свободных (или собственных) волн в вязкоупругом однородном и изотропном полом цилиндре, внутренним и внешним радиусом соответственно a и R .

Линейные интегро-дифференциальные уравнения в частных производных, описывающие распространение волн в полом цилиндре, в векторной форме, принимают вид

$$\tilde{\mu} \nabla^2 \bar{u} + (\tilde{\lambda} + \tilde{\mu}) \text{grad} \text{div} \bar{u} = \rho \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial t^2} \quad (1)$$

где

$$\tilde{\lambda} f(t) = \lambda_0 \left[f(t) - \int_0^t R_\lambda(t-\tau) f(\tau) d\tau \right], \quad \tilde{\mu} f(t) = \mu_0 \left[f(t) - \int_0^t R_\mu(t-\tau) f(\tau) d\tau \right], \quad (2)$$

$f(t)$ – произвольная функция времени; $R_\lambda(t-\tau)$ и $R_\mu(t-\tau)$ – ядра релаксации; λ_0, μ_0 – мгновенные модули упругости; u – вектор перемещений; p – плотность среды; κ – порядковой номер слоев; ν_κ – коэффициент Пуассона, который считаем не релаксирующей величиной [6].

Принимаем интегральные члены в (2) малыми. Тогда функцию $f(t)$ можно представить в виде $f(t) = \psi(t) e^{-i\omega_R t}$, где $\psi(t)$ – медленно меняющаяся функция времени; ω_R – действительная константа. На свободной поверхности полого цилиндра ставится следующие условия:

$$r = a, R: \sigma_{rr} = \sigma_{r\theta} = \sigma_{rz} = 0. \quad (3)$$

Для аналитического решения поставленной задачи применяется процедура замораживания [7], тогда соотношения (2) заменяется приближенными выражениями

$$\begin{aligned} \bar{\lambda} f(t) &= \lambda_0 \left[1 - \Gamma_\lambda^c(\omega_R) - i\Gamma_\lambda^s(\omega_R) \right] f(t) \\ \bar{\mu} f(t) &= \mu_0 \left[1 - \Gamma_\mu^c(\omega_R) - i\Gamma_\mu^s(\omega_R) \right] f(t), \\ \Gamma_\lambda^c(\omega_R) &= \int_0^\infty R_\lambda(\tau) \cos \omega_R \tau d\tau, \quad \Gamma_\mu^c(\omega_R) = \int_0^\infty R_\mu(\tau) \cos \omega_R \tau d\tau, \\ \Gamma_\lambda^s(\omega_R) &= \int_0^\infty R_\lambda(\tau) \sin \omega_R \tau d\tau, \quad \Gamma_\mu^s(\omega_R) = \int_0^\infty R_\mu(\tau) \sin \omega_R \tau d\tau - \end{aligned}$$

соответственно, косинус- и синус образы Фурье ядра релаксации материала. Для получения численных результатов в качестве ядра вязкоупругого материала примем трехпараметрическое ядро релаксации $R_k(t) = A_k e^{-\beta_k t} / t^{1-\alpha_k}$.

В осесимметричной деформации полого вязкоупругого цилиндра вектор смещений $\vec{u} \{u_r, u_z\}$ представится в виде (Гринченко, 1978);

$$\vec{u} = \vec{U}(r) \exp[i\alpha(z - ct)] \quad (4)$$

где

$$\begin{aligned} \vec{U}(r) &= U_r(r)\vec{i} + U_z(r)\vec{j}, \\ U_r(r) &= (1/\alpha)Q_1(p_1 r) + (\alpha/p_2^2)Q_2(p_2 r), \\ U_z(r) &= i(Q_0(p_1 r) + Q_0(p_2 r)), \end{aligned}$$

$$p_1^2 = \alpha^2 - \gamma_{RI1}^2; \gamma_{RI1} = \frac{\omega_R R}{V_{0D}} + i \frac{\omega_I R}{V_{0D}},$$

$$p_2^2 = \alpha^2 - \gamma_{RI2}^2; \gamma_{RI2} = \frac{\omega_R R}{V_{0s}} + i \frac{\omega_I R}{V_{0s}}, k = \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)}.$$

Здесь α – волновое число; ω – круговая частота; V_{0D}, V_{0s} – скорости волн продольных и поперечных волн соответственно, ν – коэффициент Пуассона материала полого вязкоупругого цилиндра; R – внешний радиус полого цилиндра. Распространение возмущений в полом цилиндре удовлетворяют уравнениям движения Ламе. Решение дифференциальных уравнений удовлетворяет специальным функциям Бесселя и Ханкеля. В этом случае радиальные функции удовлетворяют следующим соотношениям:

$$\frac{dQ_0(p_k r)}{dr} = Q_1(p_k r), Q_0(p_k r) = A_k L_0(p_k r) + M_k L_0(p_k r), (k = 1, 2), \quad (5)$$

где A_i, B_i – произвольные интегральные постоянные, а функции $L_0(p_k r), M_0(p_k r)$ принимают следующий вид

$$L_0(pr) = \begin{cases} I_0(pr), & pr > 0; \\ I_0(pr), & pr > 0, \end{cases}$$

$$M_0(pr) = \begin{cases} K_0(pr), & pr > 0; \\ Y_0(pr), & pr > 0. \end{cases}$$

Задача решается в безразмерных переменных.

Выражения (5) функций $Q_0(p_k r)$ содержит четыре неизвестных интегральных произвольных постоянных A_k, B_k ($k=1,2$). Подставляя решения (4) в уравнение (1) с учетом (5), после некоторого преобразования получим уравнение Бесселя с нелинейно входящим параметром. Подставляя решения в специальных функциях в граничные условия, получим алгебраические уравнение с комплексными коэффициентами. Таким образом, для цилиндрического тела (для протяженного цилиндрического слоя) решения могут быть записаны через перемещения в следующем виде:

$$u_r = \sum_{n=0}^{\infty} \left[F_n \frac{dH_n^{(1)}(\alpha r)}{dr} + D_{2n} i \gamma_p H_{n+1}^{(1)}(\beta r) + M_{1n} n H_n^{(1)}(\beta r) / r \right] \begin{pmatrix} \cos n\theta \\ -\sin n\theta \end{pmatrix} e^{i(-\omega t + \gamma_p z)}$$

$$u_\theta = \sum_{n=0}^{\infty} \left[-F_n n H_n^{(1)}(\alpha r) / r + D_{2n} i \gamma_p H_{n+1}^{(1)}(\beta r) - M_{1n} \frac{dH_n^{(1)}(\beta r)}{dr} \right] \begin{pmatrix} s \sin n\theta \\ \cos n\theta \end{pmatrix} e^{i(-\omega t + \gamma_p z)}, \quad (6)$$

$$u_z = \sum_{n=0}^{\infty} \left[-F_n i \gamma_p H_{n+1}^{(1)}(\alpha r) - D_{2n} \left[\frac{dH_{n+1}^{(1)}(\beta r)}{dr} + \frac{n+1}{r} H_{n+1}^{(1)}(\beta r) \right] \right] \begin{pmatrix} \cos n\theta \\ -s \sin n\theta \end{pmatrix} e^{i(-\omega t + \gamma_p z)}.$$

Выражения перемещений (6) содержат в себе три произвольных постоянных F_n, D_{2n}, M_{1n} и удовлетворяют уравнениям движения (1) при всех значениях ω . Для короткого пространственного цилиндра количество произвольных постоянных будет шесть. Если полученные решения через потенциалы выразить через специальные функции Бесселя и Неймана, а также использовать граничные условия, то получим систему однородных алгебраических уравнений с комплексными коэффициентами. Для того существования решения основной определителе должно быть равно нулю. Это условия позволяет определение дисперсионных соотношений. При исследовании процессов распространения затухающих волн в упругих слоисто-однородных средах с плоскопараллельными границами раздела в первую очередь необходимо определить дисперсионные характеристики этих волн. Условия существования нетривиального решения приводит к дисперсионному уравнению, которое определяет фазовую скорость нормальных волн как трансцендентную функцию комплексной частоты и параметров модели цилиндра. Под дисперсионными характеристиками понимаются фазовые и групповые скорости C_ϕ и $V_{гр}$, коэффициенты затухания со временем Ω_l . Известно, что величины V_ϕ и Ω_l связаны со значением корня дисперсионного уравнения

$$\Delta(\omega, \xi) = 0, \quad (7)$$

формулами $C_\phi = \text{Im}(\xi)$, $V_{гр} = -\text{Re}(\xi)$, где ξ – комплексная частота; ξ -волновое число. Фазовая и групповая скорость связаны со значением корня дисперсионного уравнения некоторыми сложными зависимостями. Таким образом, чтобы иметь возможность вычислять дисперсионные характеристики, необходимо произвести качественное исследование корней уравнения (6) в точках комплексной плоскости, а также разработать метод их численного определения. Более целесообразным является прямое определение комплексных корней методом Мюллера. Для комплексных корней метод Мюллера упрощает вычисления и обеспечивает более быструю сходимость, чем метод Бэрстоу, если корни близки друг другу (Сафаров, 2012). В методе Мюллера применяется квадратичная интерполяция, что приводит к итерации вида:

$$z^{[j+1]} = z^{[j]} - (z^{[j]} - z^{[j-1]}) \frac{2C_j}{B_{jj}^2 4A_j C_j} \text{sign} B,$$

$$\text{где } A_j = g_i f_i - g_i (1 + g_i)^2 f_{i-1} + g_i f_{i-2};$$

$$B_j = (2g_i + 1) f_j^2 - (1 + g_i)^2 f_{j-1} + g_i f_{j-2};$$

$$C_j = (g_i + 1) f_j; f_j = f(z^{[j]}); g_j = (z^{[j]} - z^{[j-1]}) / (z^{[j-1]} - z^{[j-2]}); j = 0, 1, 2.$$

Для начала решения можно положить $z^{[0]} = z00$; $z^{[1]} = z01$; $z^{[2]} = z02$; $z00$, $z01$, $z02$ – решения упругих задач. На основании последней модификации

и был построен алгоритм для определения дисперсионных характеристик. Элементы дисперсионного уравнения состоит из специальных функций Ханкеля 1-го и 2-го рода n -го порядка.

Рассмотрим сначала низкочастотные колебания, для этого перейдем в уравнении (7) к пределам при $\bar{k}r_1 \rightarrow 0, \bar{m}r_1 \rightarrow 0$ и при $R_{\lambda k} = 0, R_{\mu k} = 0$. Получается биквадратное уравнение (Викторов, 1979). В результате получится спектр волны L, который начинается с нулевой частоты. Фазовая скорость C_L волны L не зависит от скорости продольных волн C_{p1} в среде. Но фазовая скорость C_L волны L зависит от плотности ρ_1 , скорости C_{s1} и реологических свойств материалов деформируемых сред

$$c_L = \frac{c_{s1}\Gamma_s}{\sqrt{\rho_{01} + c_{s0}^2\Gamma_s}}, \quad (8)$$

где $\rho_{01} = \rho_0 / \rho_1, c_{s0} = c_s / c_0$, ρ_0 — плотность жидкости, C_0 -скорость звука в жидкости. Волна L испытывает экспоненциальное затухание, если скорость ее C_L оказывается выше скорости C_{s1} . При $\omega = \omega_R + i\omega_I = 0$ волна L становится затухающей, и выполняется условия $c_{s1} < c_0\sqrt{1-\rho_{01}}$. Если учитываются реологические свойства материалов, тогда $c_{s1} < c_0\sqrt{1-\rho_{01}}/\Gamma_s$. Самой простой моделью, в которой существуют волна T, является труба, находящаяся в пустоте. Спектр этой волны начинается с нулевой частоты, при которой фазовая скорость C_T не зависит от толщины стенок, и равна скорости стержневой волны

$$c_T^2 = \left[\frac{3-4\gamma_1^2}{1-\gamma_1^2} \right] c_{s1}^2\Gamma_s, \quad \gamma_1 = c_{s1} / c_{p1} < 1. \quad (9)$$

Для существования T волны параметр γ_1 должен принадлежать в интервале $\gamma_1 \in (3/4; 1)$. В общем случае дисперсия гидроволн (для упругих или вязкоупругих механических систем) может быть нормальной или аномальной (Rayleigh, 1985–1986). Соответствующая групповая скорость определяется по формуле (Rayleigh, 1985-1986).

$$C_T = \frac{c_T^2}{c_T - \omega \frac{\partial c_T}{\partial \omega}} \quad (10)$$

Дисперсионные зависимости нормальных волн вязкоупругого полого однородного цилиндра

Дисперсионные зависимости в поставленной задаче получаются в аналитическом виде, как дисперсионное уравнение, приведённое в работе (Сафаров, 2012). Решение дисперсионного уравнения получается только

численным методом или применяются методы качественного анализа. Для полого цилиндра у дисперсионного уравнения упругого цилиндра существуют две действительные корни, которые обладают дисперсией в общем случае. При некоторых соотношениях параметров могут существовать скорости волн Рэлея, которые не обладают дисперсией. Учет вязкоупругих свойств материалов усложняет поставленную задачи. Корни дисперсионного уравнения станут комплексными. Свободные волны, в этом случае, задыхаются по времени. Точное решение поставленной задачи, сформулированной на основе дифференциальных уравнений динамической теории вязко—упругости, позволяет исследовать дисперсионные зависимости нормальных затухающих волн численно или методом качественного анализа. Параметры ядра релаксации принято в виде $A=0,048$; $\beta=0,05$; $\alpha=0,1$. На рис. 1 изображены реальные части дисперсионных кривых осесимметричных волн для полого вязкоупругого цилиндра при различных значениях внутреннего радиуса цилиндра. Влияние толщинного параметра на дисперсионные свойства первых нормальных осесимметричных волн в полом цилиндре: сплошные — первая волна $1 - r_1 = 0.3$, $2 - r_1 = 0.8$, $3 - r_1 = 0.9$, $4 - r_1 = 0.95$, $5 - r_1 = 0.99$.

При вычислении принята $\nu=0.25$, и внутренний радиус $a \in (0.39 \div 0.9)$. На рис.2 сплошными линиями отмечены реальные части первой дисперсионной кривой. Видно, что с увеличением волнового числа соответствующие дисперсионные кривые увеличиваются с ускоренным темпом.

На рис. 2–3 приведено изменение по радиусу нормированных амплитуд смещений в первой нормальной волне ($\alpha = 10$; $1. \text{Re}u_r^*$; $2. \text{Im}u_r^*$). Видно, что волновое движение в цилиндре концентрируется на поверхности полого вязкоупругого цилиндра. Аналогичные результаты приведены на рис. 4–5.

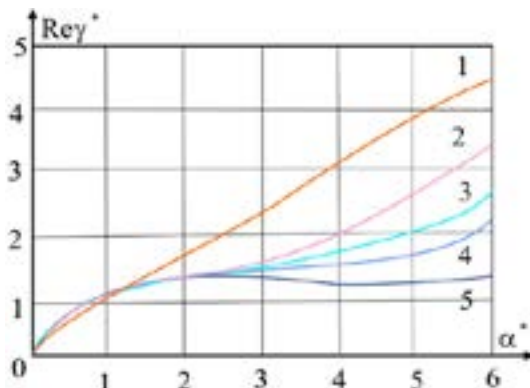


Рис. 1. Влияние толщинного параметра на дисперсионные свойства первых нормальных осесимметричных волн в полом цилиндре: сплошные — первая волна $1 - r_1 = 0.3$, $2 - r_1 = 0.8$, $3 - r_1 = 0.9$, $4 - r_1 = 0.95$, $5 - r_1 = 0.99$

(Fig.1. Influence of the thickness parameter on the dispersion properties of the first normal axisymmetric waves in a hollow cylinder: solid lines - the first wave $1 - r_1 = 0.3$, $2 - r_1 = 0.8$, $3 - r_1 = 0.9$, $4 - r_1 = 0.95$, $5 - r_1 = 0.99$)

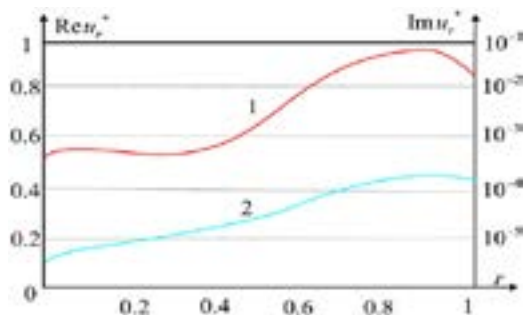


Рис. 2. Распределение по радиусу нормированных комплексных амплитуд смещений в первой нормальной волне ($\alpha = 10$): 1. $\text{Re}u_r^*$; 2. $\text{Im}u_r^*$
 (Fig. 2. Radius distribution of normalized complex displacement amplitudes in the first normal wave ($\alpha = 10$): 1. $\text{Re}u_r^*$; 2. $\text{Im}u_r^*$)

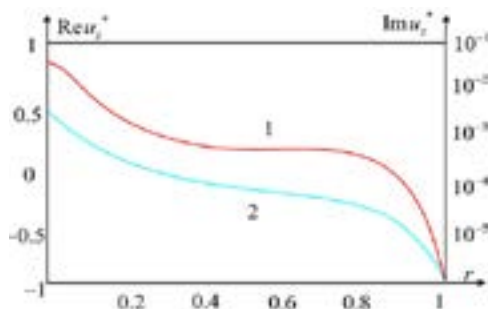


Рис. 3. Распределение по радиусу нормированных комплексных амплитуд смещений в первой нормальной волне ($\alpha = 10$): 1. $\text{Re}u_r^*$; 2. $\text{Im}u_r^*$
 (Fig. 3. Radius distribution of normalized complex displacement amplitudes in the first normal wave ($\alpha = 10$): 1. $\text{Re}u_r^*$; 2. $\text{Im}u_r^*$)

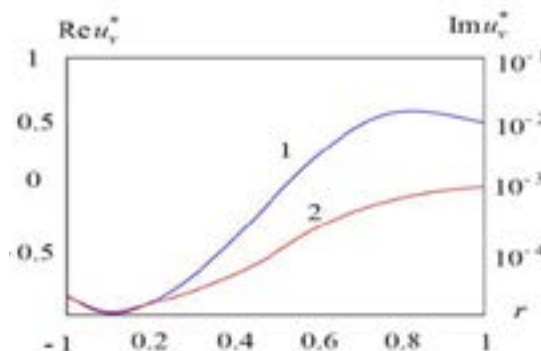


Рис. 4. Распределение по радиусу нормированных амплитуд смещений во второй нормальной волне ($\alpha = 10$): 1. $\text{Re}u_r^*$; 2. $\text{Im}u_r^*$
 (Fig. 4. Radius distribution of normalized displacement amplitudes in the second normal wave ($\alpha = 10$): 1. $\text{Re}u_r^*$; 2. $\text{Im}u_r^*$)

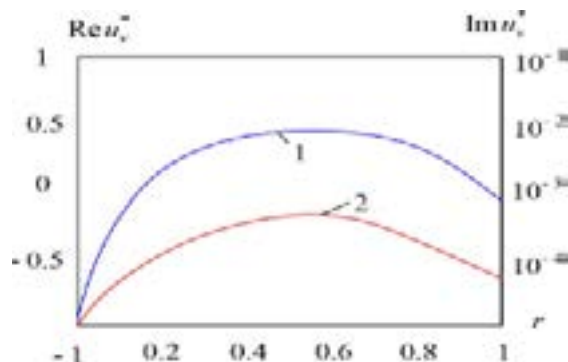


Рис. 5. Распределение по радиусу нормированных амплитуд смещений во второй нормальной

волне ($\alpha=10$): 1. $Re u_r^*$; 2. $Im u_r^*$

(Fig. 5. Radius distribution of normalized displacement amplitudes in the second normal wave ($\alpha=$

10): 1. $Re u_r^*$; 2. $Im u_r^*$)

Для $0 < \alpha < 1$ величинах волнового числа первые дисперсионные кривые при различных r_1 практически одинаковы. Соответствующая фазовая скорость удовлетворяет следующие выражения

$$Re \frac{c_R}{c_s} = \Psi \sqrt{2(1+\nu)} \approx 1.5731,$$

где Ψ — параметр, который характеризует вязкие свойства материалов цилиндра. Если $\alpha > 1$, тогда с увеличением волнового числа реальная и мнимая части низшей моды фазовой скорости существенно уменьшаются с увеличением r_1 . С уменьшением толщины полого цилиндра реальные и мнимые части первой и второй мод отклоняются друг от друга и плавно уменьшается первая мода фазовой скорости, а вторая мода — умеренно снижается. Когда $\alpha=0.97$, полый цилиндр рассматривается как цилиндрическая оболочка. Дисперсионные кривые при $1.8 < \alpha < 3.0$ практически не изменяются, т.е. становятся горизонтальными по оси абсцисс. При дальнейшем увеличении волнового числа $\alpha > 3.0$ реальные и мнимые части фазовой скорости первой и второй мод, сначала возрастут и приближаются к скорости волны Рэлея (Сафаров и др., 2012, Сафаров и др., 2011).

Заклучение

Исследованы свойства поверхностных волн в вязко-упругом полом цилиндре. Найдено, что в полом вязко-упругом цилиндре существуют две комплексные нормальные волны, реальные части которых в предельном случае приближаются к скорости волн Рэлея.

Установлено, что поверхностные волны в полом вязко-упругом цилиндре локализируются на внешней и внутренней свободной поверхностях цилиндра.

Литература

Rayleigh J.W. — *Rayleigh J.W.* On waves propagated along the plane surface of an elastic solid // Proc. Lond. Math. Soc. — 1885/1886. — 17. № 253. — Pp. 4–11.

Фарнелл Дж. Свойства упругих поверхностных волн // Физ. акустика: Принципы и методы (пер. с англ.). — 1973. — 6. — С. 137–202.

Викторов И.А. — *Викторов И.А.* Типы звуковых поверхностных волн в твердых телах // Акуст. ж. — 1979. — 25. № 1. — С. 1–17.

Oliver J. — *Oliver J.* A summary of observed seismic surface wave dispersion // Bull. Seism. Soc. Amer. — 1959. — 52. № 1. — Pp. 81–90.

Owen T.E. — *Owen T.E.* Surface wave phenomena in ultrasonics // Progr. Appl. Matter. Resch. — 1964. — 6. — Pp. 69–87.

Uberal H. — *Uberal H.* Surface waves in acoustics // Phys. acoustics: Principles and methods. — 10. — 1973. — Pp. 1–60.

Гринченко В.Т., Мелешко В.В. — *Гринченко В.Т., Мелешко В.В.* Гармонические колебания и волны в упругих телах. — К.: Наук. думка, 1981. — 283 с.

Гринченко В.Т., Комиссарова Г.Л. — *Гринченко В.Т., Комиссарова Г.Л.* Распространение волн в полой упругой цилиндрической оболочке с жидкостью // Прикл. мех. — 1984. — 20. № 8. — С. 25–29.

Комиссарова Г.Л. — *Комиссарова Г.Л.* К решению задачи о распространении волн в цилиндре с жидкостью // Прикл. мех. — 1990. — 26. № 8. — С. 25–29.

Гринченко В.Т., Комиссарова Г.Л. — *Гринченко В.Т., Комиссарова Г.Л.* Свойства нормальных волн в упруго-жидкостных цилиндрических волноводах // Акуст. вѣстн. — 2000. — 3. № 3. — С. 44–55.

Комиссарова Г.Л. — *Комиссарова Г.Л.* Распространение нормальных волн в заполненных жидкостью тонкостенных цилиндрах // Прикл. мех. — 2002. — 38. № 1. — С. 124–134.

Гринченко В.Т., Комиссарова Г.Л. — *Гринченко В.Т., Комиссарова Г.Л.* Особенности динамического деформирования полого цилиндра // Прикл. мех. — 1986. — 22. № 5. — С. 3–8.

Rosenberg R.L., Thurston R.N. — *Rosenberg R.L., Thurston R.N.* Relationship between plate and surface modes of a tube // J. Acoust. Soc. Amer. — 1977. — 61. № 6. — Pp. 1499–1502.

Thurston R.N. — *Thurston R.N.* Elastic waves in rod and clad rods // J. Acoust. Soc. Amer. — 1978. — 64. № 1. — Pp. 1–37.

Гринченко В.Т. — *Гринченко В.Т.* Равновесие и установившиеся колебания упругих тел конечных размеров. — К.: Наук. думка, 1978. — 264 с.

Сафаров И.И., Тешаев М.Х., Болтаев З.И. — *Сафаров И.И., Тешаев М.Х., Болтаев З.И.* Волновые процессы в механическом волноводе. Основы, концепции, методы. Германия, LAP, Lambert Academic Publishing. 2012–220 p.

Сафаров И.И., Болтаев З.И. — *Сафаров И.И., Болтаев З.И.* Распространение гармонических волн в пластинке переменной толщины. Известия высших учебных заведений Поволжский регион. «Физико-математические науки». 2011. № 4 (20). С. 24–345.

REFERENCES

Rayleigh J.W., 1885/1886 — *Rayleigh J.W.* On waves propagated along the plane surface of an elastic solid // Proc. Lond. Math. Soc. — 1885/1886. — 17. № 253. — Pp. 4–11.

Farnell Dzh., 1973 — *Farnell Dzh.* Properties of elastic surface waves // Fiz. Acoustics: Principles and Methods (translated from English). — 1973. — 6. — Pp. 137–202.

Viktorov I.A., 1979 — *Viktorov I.A.* Types of sound surface waves in solids // Acoustic journal. — 1979. — 25. № 1. — Pp. 1–17.

Oliver J., 1959 — *Oliver J.* A summary of observed seismic surface wave dispersion // Bull. Seism. Soc. Amer. — 1959. — 52. № 1. — Pp. 81–90.

Owen T.E., 1964 — *Owen T.E.* Surface wave phenomena in ultrasonics // Progr. Appl. Matter. Resch. — 1964. — 6. — Pp. 69–87.

Uberal H., 1973 — *Uberal H.* Surface waves in acoustics // Phys. acoustics: Principles and methods. — 10. — 1973. — Pp. 1–60.

Grinchenko V.T., Meleshko V.V., 1981 — *Grinchenko V.T., Meleshko V.V.* Harmonic oscillations and waves in elastic bodies. — Kyiv: Nauk. Dumka, 1981. — 283 p.

Grinchenko V.T., Komissarova G.L., 1984 — *Grinchenko V.T., Komissarova G.L.* Propagation of waves in a hollow elastic cylinder with liquid // *Applied Mechanics*. — 1984. — 20. № 8. — Pp. 25–29.

Komissarova G.L., 1990 — *Komissarova G.L.* To the solution of the problem of wave propagation in a cylinder with liquid // *Applied Mechanics*. — 1990. — 26. № 8. — Pp. 25–29.

Grinchenko V.T., Komissarova G.L., 2000 — *Grinchenko V.T., Komissarova G.L.* Properties of normal waves in elastic-fluid cylindrical waveguides // *Acoustic Bulletin*. — 2000. — 3. № 3. — Pp. 44–55.

Komissarova G.L., 2002 — *Komissarova G.L.* Distribution of normal waves in liquid-filled thin-walled cylinders // *Applied Mechanics*. — 2002. — 38. № 1. — Pp. 124–134.

Grinchenko V.T., Komissarova G.L., 1986 — *Grinchenko V.T., Komissarova G.L.* Peculiarities of dynamic deformation of a hollow cylinder // *Applied Mechanics*. — 1986. — 22. № 5. — Pp. 3–8.

Rosenberg R.L., Thurston R.N., 1977 — *Rosenberg R.L., Thurston R.N.* Relationship between plate and surface modes of a tube // *J. Acoust. Soc. Amer.* — 1977. — 61. № 6. — Pp. 1499–1502.

Thurston R.N., 1978 — *Thurston R.N.* Elastic waves in rod and clad rods // *J. Acoust. Soc. Amer.* — 1978. — 64. № 1. — Pp. 1–37.

Grinchenko V.T., 1978 — *Grinchenko V.T.* Equilibrium and steady oscillations of elastic bodies of finite sizes. — Kyiv: Nauk, Dumka, 1978. — 264 p.

Safarov I.I., Teshayev M.Kh., Boltayev Z.I., 2012 — *Safarov I.I., Teshayev M.Kh., Boltayev Z.I.* Wave processes in a mechanical waveguide. Fundamentals, concepts, methods. Germany. LAP. Lambert Academic Publishing. 2012. — 220 p.

Safarov I.I., Boltayev Z.I., 2011 — *Safarov I.I., Boltayev Z.I.* Propagation of harmonic waves in a plate of variable thickness. News of higher educational institutions Volga region. “Physical and mathematical sciences”. 2011. № 4(20). Pp. 24–345.

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
ISSN 2224-5227
Volume 345, Number 1 (2023), 180–191
<https://doi.org/10.32014/2023.2518-1483.193>

UDC 52.77

© A.Zh. Omar¹, A.B. Manapbayeva¹, M.T. Kyzgarina^{1*}, T. Komesh^{1,2},
N.Sh. Alimgazina¹, 2023

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;

²Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan.

E-mail: meir83physics@gmail.com

STUDIES OF REGIONS IN THE AQUILA MOLECULAR CLOUD BY THE METHOD OF CO SELECTIVE DISSOCIATION

Omar Aruzhan Zheniskhankyzy — Senior Researcher. Scientific Research Institute of Experimental and Theoretical Physics. Al-Farabi Kazakh National University. 050040. Almaty, Kazakhstan
E-mail: omaruzhan@gmail.com. ORCID: 0000-0002-5604-3742;

Manapbayeva Arailym Bekbolatkyzy — Senior Researcher. Scientific Research Institute of Experimental and Theoretical Physics. Al-Farabi Kazakh National University. 050040. Almaty, Kazakhstan

E-mail: manapbayeva.arailym@gmail.com. ORCID: 0000-0002-0322-1509;

Kyzgarina Meiramgul Tuleubekovna — PhD. Senior lecturer. Al-Farabi Kazakh National University. 050040. Almaty, Kazakhstan

E-mail: meir83physics@gmail.com. ORCID:0000-0002-4103-7657;

Komesh Toktarkhan — PhD. Principal investigator of the research team. Energetic Cosmos Laboratory. Nazarbayev University. Senior Researcher. Scientific Research Institute of Experimental and Theoretical Physics. Al-Farabi Kazakh National University. 010000. Nur-Sultan, Kazakhstan
E-mail: toktarkhan.komesh@nu.edu.kz. ORCID: 0000-0002-3415-4636;

Alimgazina Nazgul Shakarimovna — Candidate of physical and mathematical sciences. Senior Lecturer. Al-Farabi Kazakh National University. 050040. Almaty, Kazakhstan

E-mail: nazgul.alimgazina@kaznu.kz. ORCID: 0000-0002-4596-1855.

Abstract. In this paper, the role of selective dissociation in starformation process in Aquila was studied. We compared physical parameters of protostellar and prestellar cores and selected regions with CO isotope distribution in photodissociation regions. The relationship between the evolutionary age of star-forming regions and selective dissociation has been explained. To study starformation processes in Aquila, we observed and analyzed the ^{12}CO , ^{13}CO and C^{18}O ($J=1-0$) emission lines. There were identified regions with the highest C^{18}O column densities on the integrated C^{18}O intensity map. These regions correspond to protostellar-prestellar cores according to the Herschel Gould Belt catalog. On the velocity map it was determined that velocity of the selected eight regions is found in the range from 5 km/s to 9 km/s. A large radiation flux in W40 occurs within 4–5 km/s, it can be as a result of heating from ionized hydrogen HII. It is shown that self-absorption affects the spectrum of ^{13}CO . From the channel map, it was revealed that the velocities of

^{12}CO are distributed within 4–5 km/s, corresponding to the range of low velocities. C^{18}O ($J=1-0$) molecules are distributed in the range of 6–8 km/s, and ^{13}CO – in all velocity ranges of 4–9 km/s. About 300 prestellar cores have been found in Aquila molecular complex, of which approximately 200 have a temperature in the range of 0.5–1.5 K.

Keywords: molecular cloud, Aquila, starformation, selective dissociation

© А.Ж. Омар¹, А.Б. Манапбаева¹, М.Т. Кызгарина^{1*}, Т. Көмеш^{1,2},
Н.Ш. Алимгазинова¹, 2023

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
Алматы қаласы, Қазақстан;

²Назарбаев Университеті, Астана қаласы, Қазақстан.

E-mail: meir83physics@gmail.com

AQUILA МОЛЕКУЛАЛЫҚ БҰЛТЫНЫҢ АЙМАҚТАРЫН СО ТАҢДАМАЛЫ ДИССОЦИАЦИЯСЫ ӘДІСІМЕН ЗЕРТТЕУ

Омар Аружан Женисханқызы — Аға ғылыми қызметкер. Эксперименттік және теориялық физика ҒЗИ. Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті. 050040. Алматы, Қазақстан
E-mail: omaruzhan@gmail.com. ORCID: 0000-0002-5604-3742;

Манапбаева Арайлым Бекболатқызы — Аға ғылыми қызметкер. Эксперименттік және теориялық физика ҒЗИ. Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті. 050040. Алматы, Қазақстан

E-mail: manapbayeva.arailym@gmail.com. ORCID: 0000-0002-0322-1509;

Кызгарина Мейрамгүл Төлеубекқызы — PhD. Аға оқытушы. Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті. 050040. Алматы, Қазақстан

E-mail: meir83physics@gmail.com. ORCID:0000-0002-4103-7657;

Көмеш Тоқтархан — PhD. Жобалық топтың бас зерттеушісі. Энергетикалық ғарыш зертханасы. Назарбаев Университеті. Аға ғылыми қызметкер. Эксперименттік және теориялық физика ҒЗИ. Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті. 010000. Астана, Қазақстан
E-mail: toktarkhan.komesh@nu.edu.kz. ORCID: 0000-0002-3415-4636;

Алимгазинова Назгүл Шакаримовна — Физика және математика ғылымдарының кандидаты. Аға оқытушы. Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті. 050040. Алматы, Қазақстан
E-mail: nazgul.alimgazinova@kaznu.kz. ORCID: 0000-0002-4596-1855.

Аннотация. Бұл мақалада жұлдыз түзілу процесіндегі таңдамалы диссоциацияның рөлі жан-жақты зерттелінді. Зерттеу прото жұлдыз бен жұлдызға дейінгі ядролардың, сонымен бірге таңдалынған аймақтардың физикалық параметрлерін фото диссоциация аймағындағы СО изотопының таралуымен салыстыру арқылы жүргізілді. Жұлдыз түзілетін аймақтардың эволюциялық жасы мен таңдамалы диссоциация арасында қаншалықты байланыс бар екені түсіндірілді. Aquila молекулалық аймағында өтіп жатқан жұлдыз түзілу процесін зерттеу үшін ^{12}CO , ^{13}CO және C^{18}O ($J=1-0$) эмиссия сызықтары бақыланып, талдау жүргізілді. C^{18}O интегралданған интенсивтілік картасынан C^{18}O баған тығыздығы жоғары аймақтардың орындары белгіленді. Бұл аймақтар Herschel Gould Belt зерттеу мұрағатынан алынған протожұлдыздар мен жұлдызға дейінгі ядролардың орындарымен

сәйкес келетіні анықталды. $C^{18}O$ молекуласының жылдамдықтарының таралу картасынан белгіленген сегіз аймақтың жылдамдығы 5–9 км/с аралығында анықталды. Ядроның күшейтілген эмиссиясы W40 айналасында 4–5 км/с аралығында көрсетіліп, бұл H II аймағының қызу нәтижесі болу мүмкіндігі болжанды. W40 аймағындағы ^{13}CO спектрлеріне өз абсорбция әсер ететіні көрсетілді. Каналдар картасынан ^{12}CO молекулалары 4–5 км/с аралығында аз жылдамдықпен таралатыны көрсетілді. $C^{18}O$ молекулалары 6–8 км/с аралығында орташа жылдамдықпен, ал ^{13}CO молекулалары 4–9 км/с аралығында, яғни барлық жылдамдық аралығында кеңінен таралатыны анықталды. Aquila молекулалық кешенінен шамамен 300-ге жуық жұлдызға дейінгі ядролар табылса, оның ішінде 220 жұлдызға дейінгі ядролар 0,5–1,5 K температураға ие болатыны байқалды.

Түйін сөздер: молекулалық бұлт, Aquila, жұлдыз түзілу, таңдамалы диссоциация

© А.Ж. Омар¹, А.Б. Манапбаева¹, М.Т. Кызгарина^{1*}, Т. Комеш^{1,2},
Н.Ш. Алимгазинова¹, 2023

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;

²Назарбаев Университет, Астана, Казахстан.

E-mail: meir83physics@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИКОЙ С СЕЛЕКТИВНОЙ ДИССОЦИАЦИИ ОБЛАСТЕЙ МОЛЕКУЛЯРНОГО ОБЛАКА AQUILA

Омар Аружан Женисханкызы — старший научный сотрудник. Научно-исследовательский институт экспериментальной и теоретической физики. Казахский национальный университет им. аль-Фараби. 050040. Алматы, Казахстан

E-mail: omaruzhan@gmail.com. ORCID: 0000-0002-5604-3742;

Манапбаева Арайлым Бекболаткызы — старший научный сотрудник. Научно-исследовательский институт экспериментальной и теоретической физики. Казахский национальный университет им. аль-Фараби. 050040. Алматы, Казахстан

E-mail: manapbayeva.arailym@gmail.com. ORCID: 0000-0002-0322-1509;

Кызгарина Мейрамгуль Тулеубековна — PhD. Старший преподаватель. Казахский национальный университет им. аль-Фараби. 050040. Алматы, Казахстан

E-mail: meir83physics@gmail.com. ORCID: 0000-0002-4103-7657;

Комеш Токтархан — PhD. Главный исследователь проектной группы. Лаборатория энергетического космоса. Назарбаев Университет. Старший научный сотрудник. Научно-исследовательский институт экспериментальной и теоретической физики. Казахский национальный университет им. аль-Фараби. 010000. Астана, Казахстан

E-mail: toktarkhan.komesh@nu.edu.kz. ORCID: 0000-0002-3415-4636;

Алимгазинова Назгуль Шакаримовна — кандидат физико-математических наук. Старший преподаватель. Казахский национальный университет им. аль-Фараби. 050040. Алматы, Казахстан

E-mail: nazgul.alimgazinova@kaznu.kz. ORCID: 0000-0002-4596-1855.

Аннотация. В данной работе исследуется роль селективной диссоциации в процессе звездообразования в молекулярном облаке Aquila. Исследование

проведено путем сравнения физических параметров протозвездных и дозвездных ядер, а также выбранных областей с распределением изотопов CO в области фотодиссоциации. Объяснена связь между эволюционным возрастом областей звездообразования и селективной диссоциацией.

Чтобы изучить процесс звездообразования, происходящий в молекулярном облаке Aquila, мы наблюдали эмиссионные линии ^{12}CO , ^{13}CO и C^{18}O ($J=1-0$) и провели анализ данных. Из карты интегральной интенсивности C^{18}O были выделены места с очень высокой плотностью столбцов C^{18}O . В данных местах обнаружены протозвездные и дозвездные ядра по каталогу Herschel Gould Belt. Из карты распределения скоростей определено, что скорость выделенных восьми регионов находится в интервале от 5 км/с до 9 км/с. Большой поток излучения с в регионе W40 происходит в пределах 4–5 км/с, это может быть результатом разогрева ионизированного водорода III. Показано, что на спектр молекулы ^{13}CO влияет эффект самопоглощения. Из карты каналов выявлено, что скорости молекул ^{12}CO распределены в пределах 4–5 км/с, соответствующих диапазону малых скоростей. Молекулы C^{18}O ($J=1-0$) распределены в диапазоне 6–8 км/с, а ^{13}CO во всех пределах скоростей 4–9 км/с. Было найдено около 300 дозвездных ядер в молекулярном комплексе Aquila, из них приблизительно 200 имеют температуру в пределах 0,5–1,5 К.

Ключевые слова: молекулярное облако, Aquila, звездообразование, селективная диссоциация

Кіріспе

Aquila рифті — Құс жолы галактикалық жазығының орталық аймағындағы Үлкен Рифтті құрайтын ғарыштық тозаңның күңгірт жолағының бір бөлігі. Aquila молекулалық бұлты кешенінде жұлдыз түзілудің белгілі орыны бар, атап айтатын болсақ: Оңтүстік Serpens (Bontemps, 2010) және W40 Н II аймағы (Smith, 1985). Бұл екі аймақ – жұлдыз түзілуді зерттеулердегі өзекті бағыттардың бірі. Spitzer бақылаулары W40 пен Оңтүстік Serpens кіріктірілген кластері аспанда бір-біріне жақын орналасқанын көрсетеді, тіпті Оңтүстік Serpens жайылып жатқан W40 аймағының бір бөлігі болып көрінетіндей болады (Gutermuth, 2008). Негізгі Serpens пен W40-қа дейінгі қашықтық соңғы уақыттағы өлшеулерге сәйкес 436 пк және Оңтүстік Serpens-ке дейін де дәл осындай қашықтық екені болжанды (Ortiz-León, 2017), себебі бұл екі радиотолқын көздері өзара кинематикалық түрде байланысқан. W40 алып молекулалық бұлтының массасы бағаланды $\sim 1,4 \cdot 10^5 \text{ M}_\odot$ және қашықтығы анықталды $\sim 474 \text{ пк}$ (Su Y., 2020). Кейіннен Aquila молекулалық бұлт кешеніндегі 70-тен 500 мкм-ге дейінгі SPIRE және PACS фотометриялық камералары арқылы түсірілген HGB зерттеулері алынды (Könyves, 2015). Жұлдызсыз тығыз ядролардың толық үлгісі мен Aquila молекулалық бұлты кешеніндегі кіріктірілген (Class 0–I) протожұлдыздар мульти-масштабты, мульти-толқын ұзындықты көздерді бөліп алу алгоритмдерін қолданып анықталды (Манапбаева, 2021). Бұл зерттеулерде қоршаған материалдың

қызуын сипаттау үшін және ядроның эволюциялық жасының индикаторы ретінде 70 мкм және 250 мкм мәліметтері қолданылды (Komesh, 2020).

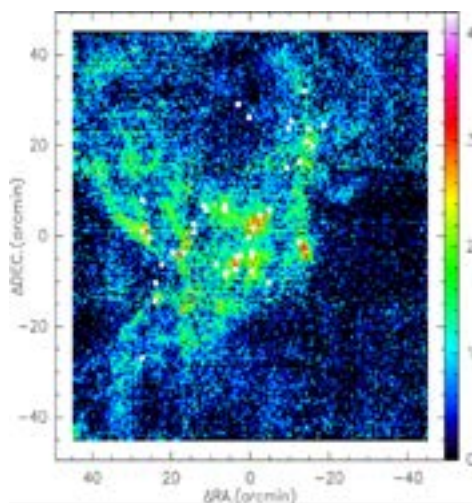
Бұл жұмыста фото-диссоциация аймақтары деп аталатын аймақтар және таңдамалы диссоциация қандай да бір рөл ойнайды деп күтілетін аймақтар кездеседі. Біз жұлдыз түзілу процесіндегі таңдамалы диссоциацияның рөлін протожұлдыз бен жұлдызға дейінгі ядролардың, ерекшеленген аймақтардың физикалық параметрлерін фото диссоциация аймағындағы CO изотопының таралуымен салыстыру арқылы зерттейміз.

Материалдар мен әдістер.

Мұрағат деректері

Делинга қаласындағы Purple Mountain Обсерваториясының 13,7 м миллиметр толқындық телескопы арқылы бақыланған ^{12}CO (1-0), ^{13}CO (1-0) және C^{18}O (1-0) мәліметтері Millimeter Wave Radio Astronomy дерекқорынан алынды. Бақылау кезіндегі объектінің орталық координатасы $18^{\text{h}}30^{\text{m}}03^{\text{s}} - 2^{\circ}02'40''$ (J2000) болды.

Бақыланатын жүйе үшін жартылай қуат деңгейіндегі сәуленің ені $\sim 50''$, жылдамдықтың ажырату қабілеті – 0,17 км/с және жүйенің температурасы 180–320 К аралығында болды. ^{12}CO (1-0), ^{13}CO (1-0) және C^{18}O (1-0) мәліметтері барлығына бірдей, $60''$ болатын кеңістіктік ажырату қабілетіне дейін теңгерілді және ұшықтың өлшемі – $30''$. ^{12}CO , ^{13}CO және C^{18}O мәліметтердің 1σ шу деңгейлері сәйкесінше 0,5; 0,35 және 0,35 К болды. Aquila кешені үшін қашықтықты 436 пк екенін ескерсек, картаның кеңістіктік масштабы 0,124 пк/arcmin болады. Инфрақызыл 70 мкм және 250 мкм кескіндері Herschel Gould Belt зерттеу мұрағатынан алынды, www.herschel.fr.



Сур. 1. C^{18}O (1-0) интегралданған интенсивтілік картасы. Herschel Gould Belt зерттеу мұрағатынан алынған протожұлдыздардың орындары ақ нүктелермен көрсетілген.
(Fig. 1. Integrated intensity map of C^{18}O (1-0). White dots show locations of protostars from the Herschel Gould Belt Survey Archive Data)

Нәтижелер мен талқылаулар

$C^{18}O(1-0)$ эмиссия сызығы

1-суретте $C^{18}O(1-0)$ интегралданған интензивтілік картасы келтірілді. Бұл картада интегралданған интензивтіліктің концентрациясы тығызырақ бірнеше аймақтар көрсетілген, оның ішінде W40 Н II аймағы мен Оңтүстік Serpens те бар. $C^{18}O(1-0)$ эмиссиясы жоғары аймақтар молекулалық газдың тығыздығы жоғары болатынын көрсетеді. Интегралданған интензивтіліктің концентрациясы тығызырақ аймақтар Herschel Gould Belt зерттеу мұрағатынан белгіленіп алынды.

Баған тығыздықтары мен химиялық элементтердің таралу қатынастары

$^{12}CO(1-0)$ сызығының оптикалық қалың екенін ескеріп, T_{ex} қозу температурасы $^{12}CO(1-0)$ жарқырау температурасының максимумынан келесі теңдеу арқылы бағаланды (Pineda, 2010), (Kong, 2015), (Lin, 2016):

$$T_{ex} = \frac{h\nu_{12CO}}{k} \left[\ln \left(1 + \frac{\frac{h\nu_{12CO}}{k}}{T_{mb,12CO} + J_\nu(T_{bg})} \right) \right]^{-1} K =$$

$$= 5,53 \left[\ln \left(1 + \frac{5,53}{T_{mb,12CO} + 0,818} \right) \right]^{-1} K, \quad (1)$$

мұндағы $T_{mb,12CO}$ – $^{12}CO(1-0)$ максимум интензивтілігі, өлшем бірлігі Кельвин. $J_\nu(T) = \frac{h\nu/k}{\exp(\frac{h\nu}{kT}) - 1}$ – эффективті сәуле шығару температурасы (Ulich, 1976), (Anders, 1989), $T_{bg} = 2,7 K$ – ғарыштық микротолқындық

фонның сәуле шығару температурасы. Барлық бақыланған аймақтағы қозу температурасы 3,6-дан 23,6 К-ге дейінгі аралықта бағаланды, бірақ бұл мәндер ^{12}CO эмиссиясына өз-абсорбция әсер ететін жерлерде төмен бағаланды. ^{13}CO мен $C^{18}O$ сызықтарының қозу температуралары оптикалық қалың ^{12}CO сызығындағыдай бірдей мәнге ие болады деген болжам жасадық. Бұлт локальды термодинамикалық тепе-теңдікте болатындықтан ^{13}CO мен $C^{18}O$ оптикалық тереңдігі мен баған тығыздықтары төмендегідей теңдеулер арқылы бағаланды (André, 2010), (Komesh, 2019),

$$\tau(C^{18}O) = -\ln \left[1 - \frac{T_{mb,C^{18}O}}{5,27[J_1(T_{ex}) - 0,166]} \right], \quad (2)$$

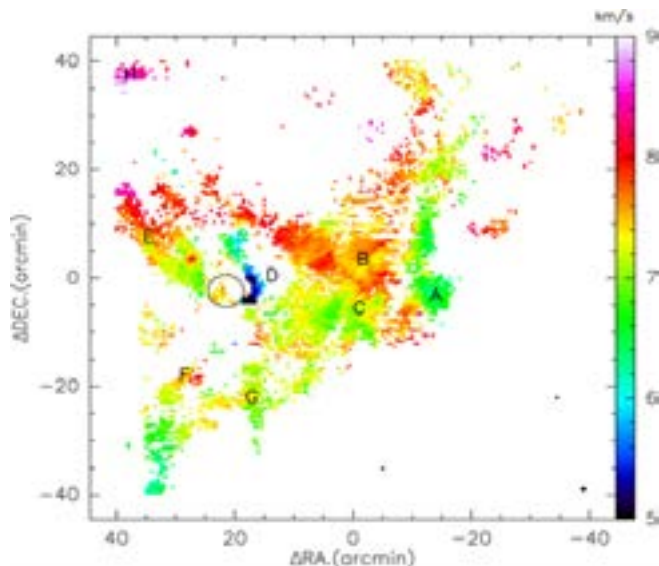
$$\tau(^{13}CO) = -\ln \left[1 - \frac{T_{mb,^{13}CO}}{5,29[J_2(T_{ex}) - 0,164]} \right], \quad (3)$$

және

$$N(C^{18}O) = 2,42 \times 10^{14} \frac{\tau(C^{18}O)\Delta\nu(C^{18}O)T_{ex}}{1 - \exp(-\frac{5,27}{T_{ex}})} \quad (4)$$

$$N(^{13}CO) = 2,42 \times 10^{14} \frac{\tau(^{13}CO)\Delta\nu(^{13}CO)T_{ex}}{1 - \exp(-\frac{5,29}{T_{ex}})} \quad (5)$$

мұндағы $J_1(T_{ex}) = \frac{1}{[\exp(-\frac{5.27}{T_{ex}})-1]}$, $J_2(T_{ex}) = \frac{1}{[\exp(-\frac{5.29}{T_{ex}})-1]}$, және ΔV – FWHM, км/с. Химиялық элементтердің таралу қатынасы $X_{CO}^{13} / X_{CO}^{18}$ баған тығыздықтарының таралу қатынасына $N(^{13}CO) / N(C^{18}O)$ эквивалентті.



Сур.2. C¹⁸O(1–0) жылдамдық картасы. А-Н аймақтары C¹⁸O(1–0) молекуласының баған тығыздығы жоғары аймақтарды білдіреді.
(Fig. 2. C¹⁸O(1–0) Velocity map. Regions A-H represent regions of high column density of the C¹⁸O(1–0) molecule)

¹²CO эмиссиясына өз-абсорбция әсер ететін аймақтарда ¹³CO мен C¹⁸O баған тығыздықтарына ¹²CO мәліметінен төмен бағаланған T_{ex} әсер етеді. Бұл осы аймақтардағы ¹³CO мен C¹⁸O баған тығыздықтарының төмен бағалануына әкеледі. N(¹³CO) мен N(C¹⁸O)-ның қорытқы аралықтары сәйкесінше 3,8–5,5 см² және 2–3,4 см² және химиялық элементтердің таралу қатынасының R_{13/18} қорытқы аралығы 1,02–41,9.

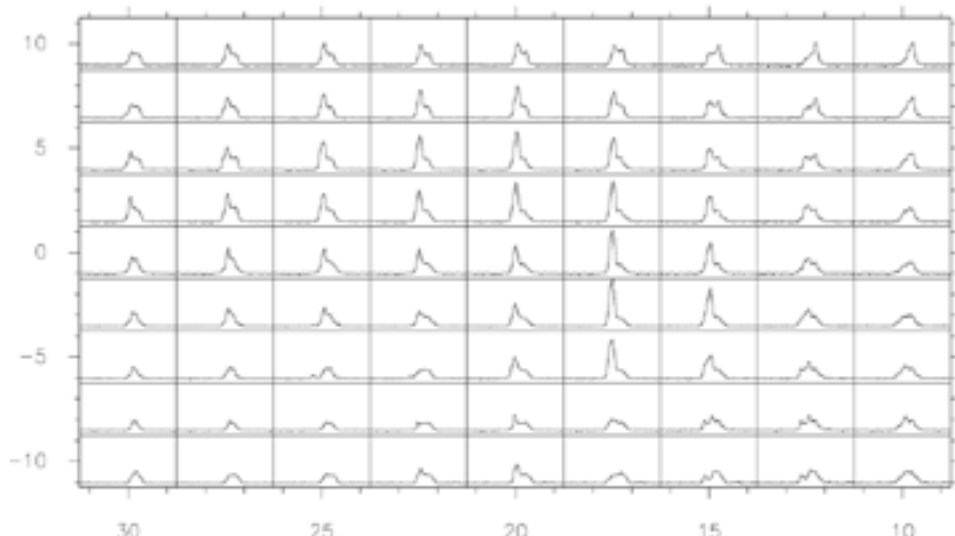
Таңдамалы фото-диссоциация

Біз жылдамдық картасынан (А–Н) сегіз бірегей аймақтарды бөліп алдық, А аймағының жылдамдығы – 6,5 км /с, алты аймақта (А, В, С, Е, F, G) жылдамдық орташа мәнде алынды 6,5–7,5 км /с, бір аймақта (Н аймағы) жылдамдық біршама жоғарырақ мәнге ие, 8,5–9 км /с.

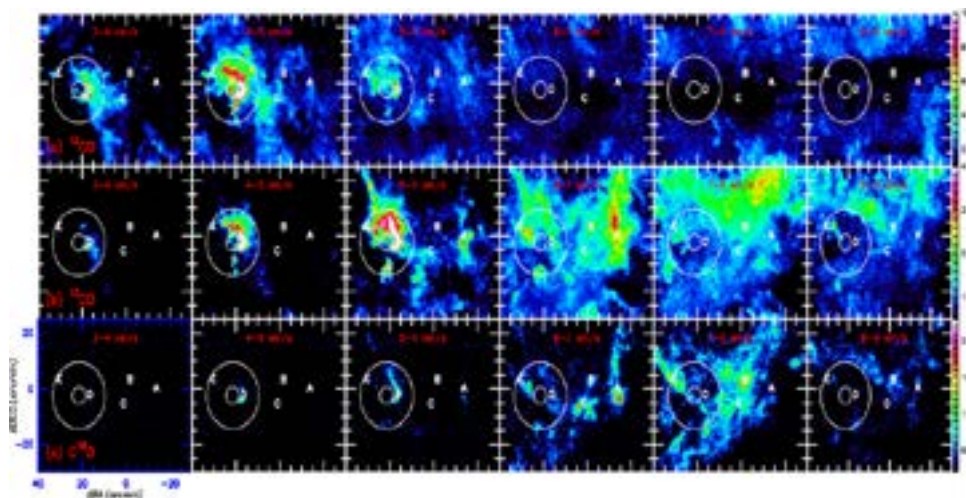
D аймағы W40 Н II аймағының жанында, дәлірек айтқанда солтүстік-батыс жағында орналасқан, D аймағындағы жылдамдық 5–6 км /с айналасында. А, В, С аймақтары Оңтүстік Serpens-ті қамтиды, ал шеңбермен белгіленген аймақ W40 Н II аймағы ретінде анықталды.

3-суретте Aquila молекулалық бұлттындағы W40 Н II аймағының ¹³CO (1–0) эмиссиясының спектрлері келтірілді. Графиктен ¹³CO молекуласы спектрінің орталық компонентінің екі шыңын байқауға болады, алайда бұл шыңдар ¹³CO

молекуласы жылдамдығының екі құраушысын көрсетпейді. Өз абсорбция нәтижесінде бір шың мүжіліп, екіге бөлініп тұр. Сонымен, ^{13}CO -ның орталық компонентінің өз абсорбциядан жұтылып, мүжіліп кеткенін анық көруге болады.



Сур.3. W40 H II аймағының ^{13}CO спектрлері.
(Fig. 3. ^{13}CO spectra of W40 H II region)

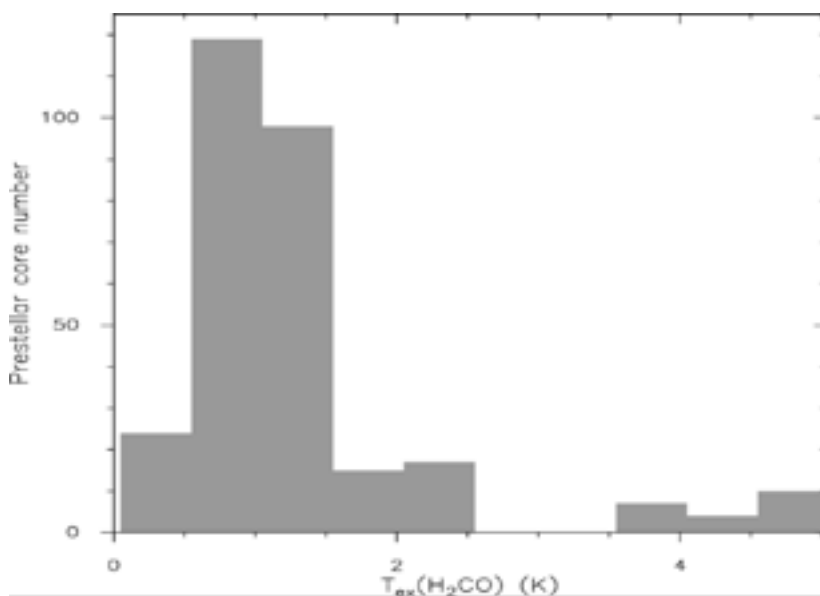


Сур.4. $^{12}\text{CO}(1-0)$, ^{13}CO , $\text{C}^{18}\text{O}(1-0)$ мәліметтерінен сызылған каналдар картасы.
(Fig. 4. Channel map, constructed from $^{12}\text{CO}(1-0)$, ^{13}CO , $\text{C}^{18}\text{O}(1-0)$ data)

4-суретте каналдар картасы көрсетілген. 4а-суретте $^{12}\text{CO}(1-0)$ каналдар картасы 1 км/с қадаммен $3 < V_{\text{LSR}} < 9 \text{ км/с}$ жылдамдық аралығында келтірілді. Ядроның күшейтілген эмиссиясы W40 айналасында $4-5 \text{ км/с}$ аралығында

көрініп тұр, бұл Н II иондалған сутегі аймағының қызу нәтижесінде болуы мүмкін. Оңтүстік Serpens айналасында әлсіз эмиссия бар. 4b-суретте ^{13}CO (1–0) каналдар картасы 1 км/с қадаммен $3 < V_{\text{LSR}} < 9$ км/с жылдамдық аралығында келтірілді. Мұнда ядроның күшейтілген эмиссиясы W40-тың солтүстігі және батысында 7–8 км/с аралығында көрініп тұр. Оңтүстік Serpens-те бірнеше созылған құрылымдар бар. 4c-суретте C^{18}O (1–0) каналдар картасы 1 км/с қадаммен $3 < V_{\text{LSR}} < 9$ км/с жылдамдық аралығында келтірілді. Бұл картада W40 Н II аймағы мен Оңтүстік Serpens-те C^{18}O (1–0) эмиссиясының таралуы 7–8 км/с аралығында көрініп тұр. C^{18}O (1–0) бен ^{13}CO (1–0) мәліметтерінің екеуі де бірдей жылдамдық аймақтарында ізін қалдырады, бұл C^{18}O (1–0) бен ^{13}CO (1–0) эмиссиясының бірдей аймақтарда жоғары көтерілетінін білдіреді.

Каналдар картасынан ^{12}CO молекулалары аз жылдамдықпен таралатыны байқалады, таралу жылдамдығы 4–5 км/с аралығында жатыр. C^{18}O молекулалары орташа жылдамдықпен таралатыны көрінеді, таралу жылдамдығы 6–8 км/с аралығында жатыр. Ал ^{13}CO молекулалары барлық жылдамдық аралығында кеңінен таралатынын көреміз, таралу жылдамдығы 4–9 км/с аралығында жатыр.



Сур.5. H_2CO -мен табылған температурасы.
(Fig. 5. temperature, calculated using H_2CO)

5-суретте жұлдызға дейінгі ядролардың таралуының температурасына тәуелділігі көрсетілген. Жұлдызға дейінгі ядролар температураның 1–2 К шамасында көбірек таралған. Молекулалық бұлттағы жұлдызға дейінгі ядролардың таралуы жұлдыз түзілудің белсенді орындарын анықтайды.

Қорытынды

Aquila молекулалық бұлтындағы таңдалынған аймақтарда жұлдыз түзілу процесін және оның қоршаған ортаға әсерін зерттеу үшін $C^{18}O$ эмиссия сызығы бақыланған мұрағаттық мәліметтер қолданылды. Молекулалық бұлттағы протожұлдыз бен жұлдызға дейінгі ядролардың таралуы жұлдыз түзілудің белсенді орындарын анықтауда алғашқы индикатор болып табылады және олардың таралуы $C^{18}O$ (1–0) созылыңқы эмиссиясының құрылымы аралығында ең жоғары баған тығыздығымен жақсы корреляцияланады.

Жылдамдық картасынан $C^{18}O$ (1–0) молекуласының баған тығыздығы жоғарырақ болатын бірнеше аймақ таңдап алынды, алты аймақта жылдамдық орташа мәнде алынды 6,5–7,5 км/с, ал бір аймақта жылдамдық біршама жоғарырақ мәнге ие болды.

Aquila молекулалық бұлтындағы W40 Н II аймағының ^{13}CO (1–0) эмиссиясының спектрлері қарастырылды. ^{13}CO -ның орталық компонентінің өз-абсорбциядан жұтылып, мүжіліп кеткені анық көрсетілді.

^{12}CO (1–0) каналдар картасында ядроның күшейтілген эмиссиясы W40 айналасында 4–5 км/с аралығында көрсетілді. ^{13}CO (1–0) каналдар картасында ядроның күшейтілген эмиссиясы W40-тың солтүстігі және батысында 7–8 км /с аралығында анықталды. $C^{18}O$ (1–0) каналдар картасында W40 Н II аймағы мен Оңтүстік Serpens-те $C^{18}O$ (1–0) эмиссиясының таралуы 7–8 км /с аралығында анықталды.

Молекулалық бұлттағы жұлдызға дейінгі ядролардың таралуы жұлдыз түзілудің белсенді орындарын анықтайды. Жұлдызға дейінгі ядролар температураның 0,5–1,5 К шамасында көбірек таралғаны көрсетілді, бұл аралықта жұлдызға дейінгі ядролар саны шамамен алғанда 220-ға тең болды.

Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырды (грант № AP13067768, грант № AP14870504), «Молекулалық бұлттардағы ыстық ядроларды радиоастрономиялық зерттеу және массивті жұлдыздардың пайда болу аймақтарын зерттеу», мақала 2022–2024 жылдарға берілген жас ғалымдарға арналған ғылыми гранттар аясында дайындалды.

ӘДЕБИЕТТЕР

Anders E., Grevesse N., 1989 — *Anders E., Grevesse N.* Abundances of the Elements: Meteoritic and Solar// *Geochimica et Cosmochimica Acta.*, 53: 197–214. DOI: 10.1016/0016-7037(89)90286-X (in Eng.).

André Ph., Men'shchikov A., 2010 — *André Ph., Men'shchikov A.* From filamentary clouds to prestellar cores to the stellar IMF: Initial highlights from the Herschel Gould Belt Survey // *Astronomy & Astrophysics*, 518: L 102. DOI: 10.1051/0004-6361/201014666 (in Eng.).

Bontemps S., André Ph., 2010 — *Bontemps S., André Ph.* The Herschel first look at protostars in the Aquila rift // *Astronomy and Astrophysics*, 518: L 85. DOI: 10.1051/0004-6361/201014661 (in Eng.).

Gutermuth R.A., Bourke T.L., Allen L.E., 2008 — *Gutermuth R.A., Bourke T.L., Allen L.E.* The Spitzer Gould belt survey of large nearby interstellar clouds: discovery of a dense embedded cluster in the Serpens – Aquila Rift // *The Astrophysical Journal Letters*, 673 (2): L 151. DOI: 10.1086/528710 (in Eng.).

Komesh T., Esimbek J., 2019 — *Komesh T., Esimbek J.* H₂CO and H110 α Observations toward the Aquila Molecular Cloud // *Astrophysical Journal*, 874: 172. DOI: 10.3847/1538-4357/ab0ae3 (in Eng.).

Komesh T., Baan W., 2020 — *Komesh T., Baan W.* Studies of the distinct regions due to CO selective dissociation in the Aquila molecular cloud // *Astronomy & Astrophysics*, 644: A46. DOI: 10.1051/0004-6361/202038632 (in Eng.).

Kong S., 2015 — *Kong S.* The relationship between the dust and gas-phase CO across the California Molecular Cloud // *Astrophysical Journal*, 805: 58. DOI: 10.1088/0004-637X/805/1/58 (in Eng.).

Könyves V., 2015 — *Könyves V.* A census of dense cores in the Aquila cloud complex // *Astronomy & Astrophysics*, 584: A 91. DOI: 10.1051/0004-6361/201525861 (in Eng.).

Lin S.-J., Shimajiri Y., 2016 — *Lin S.-J., Shimajiri Y.* The intrinsic abundance ratio and x-factor of CO isotopologues in L 1551 shielded from FUV photo dissociation // *Astrophysical Journal*, 826: 193. DOI: 10.3847/0004-637X/826/2/193 (in Eng.).

Манапбаева А.Б., Esimbek J., Алимгазинова Н.Ш., Кызгарина М.Т., Атамұрат А.Б., 2021 — *Манапбаева А.Б., Esimbek J., Алимгазинова Н.Ш., Кызгарина М.Т., Атамұрат А.Б.* N₂₂ шаң көпіршіктері жанындағы жас жұлдыз объектілерін анықтау, ҚР ҰҒА Хабарлары. Физика-математика сериясы, 3:96-105. <https://journals.nauka-nanrk.kz/physics-mathematics/article/view/2078> (in Kz.).

Ortiz-León G.N., 2017 — *Ortiz-León G.N.* The Gould's belt distances survey, *Astrophysical Journal*, 837 (2): 143. DOI: 10.3847/1538-4357/834/2/143 (in Eng.).

Pineda J.L., 2010 — *Pineda J.L.* The relation between gas and dust in the Taurus Molecular Cloud, *Astrophysical Journal*, 721: 686. DOI: 10.1088/0004-637X/721/1/686 (in Eng.).

Smith J., Bentley A., 1985 — *Smith J., Bentley A.* Infrared sources and excitation of the W 40 complex, *Astrophysical Journal*, 291: 571–580. DOI: 10.1086/163097 (in Eng.).

Su Y., Yang J., 2020 — *Su Y., Yang J.* Local Molecular Gas toward the Aquila Rift Region, *Astrophysical Journal*, 893 (2): 91. DOI: 10.3847/1538-4357/ab7fff (in Eng.).

Ulich B.L., Haas R.W., 1976 — *Ulich B.L., Haas R.W.* Absolute calibration of millimeter-wavelength spectral lines, *Astrophysical Journal*, 30: 247–258. DOI: 10.1086/190361 (in Eng.).

REFERENCES

Anders E., Grevesse N., 1989 — *Anders E., Grevesse N.* Abundances of the Elements: Meteoritic and Solar // *Geochimica et Cosmochimica Acta.*, 53: 197–214. DOI: 10.1016/0016-7037(89)90286-X (in Eng.).

André Ph., Men'shchikov A., 2010 — *André Ph., Men'shchikov A.* From filamentary clouds to prestellar cores to the stellar IMF: Initial highlights from the Herschel Gould Belt Survey // *Astronomy & Astrophysics*, 518: L102. DOI: 10.1051/0004-6361/201014666 (in Eng.).

Bontemps S., André Ph., 2010 — *Bontemps S., André Ph.* The Herschel first look at protostars in the Aquila rift // *Astronomy and Astrophysics*, 518: L 85. DOI: 10.1051/0004-6361/201014661 (in Eng.).

Gutermuth R.A., Bourke T.L., Allen L.E., 2008 — *Gutermuth R.A., Bourke T.L., Allen L.E.* The Spitzer Gould belt survey of large nearby interstellar clouds: discovery of a dense embedded cluster in the Serpens - Aquila Rift // *The Astrophysical Journal Letters*, 673 (2): L 151. DOI: 10.1086/528710 (in Eng.).

Komesh T., Esimbek J., 2019 — *Komesh T., Esimbek J.* H₂CO and H110 α Observations toward the Aquila Molecular Cloud // *Astrophysical Journal*, 874: 172. DOI: 10.3847/1538-4357/ab0ae3 (in Eng.).

Komesh T., Baan W., 2020 — *Komesh T., Baan W.* Studies of the distinct regions due to CO selective dissociation in the Aquila molecular cloud // *Astronomy & Astrophysics*, 644: A46. DOI: 10.1051/0004-6361/202038632 (in Eng.).

Kong S., 2015 — *Kong S.* The relationship between the dust and gas-phase CO across the California Molecular Cloud // *Astrophysical Journal*, 805: 58. DOI: 10.1088/0004-637X/805/1/58 (in Eng.).

Könyves V., 2015 — *Könyves V.* A census of dense cores in the Aquila cloud complex // *Astronomy & Astrophysics*, 584: A 91. DOI: 10.1051/0004-6361/201525861 (in Eng.).

Lin S.-J., Shimajiri Y., 2016 — *Lin S.-J., Shimajiri Y.* The intrinsic abundance ratio and x-factor of CO isotopologues in L 1551 shielded from FUV photo dissociation // *Astrophysical Journal*, 826: 193. DOI: 10.3847/0004-637X/826/2/193 (in Eng.).

Manapbaeva A.B., Esimbek J., Alimgazinova N.Sh., Kyzgarina M.T., Atamurat A.B., 2021 — *Manapbaeva A.B., Esimbek J., Alimgazinova N.Sh., Kyzgarina M.T., Atamurat A.B.* № 22 shan kopirshikteri zhanyndagy zhas zhuldyz obektilerin anyqtau, QR UGA Habarlary. Fizika-matematika serijasy, 3: 96–105. <https://journals.nauka-nanrk.kz/physics-mathematics/article/view/2078> (in Kz.).

Ortiz-León G.N., 2017 — *Ortiz-León G.N.* The gould’s belt distances survey, *Astrophysical Journal*, 837 (2): 143. DOI: 10.3847/1538-4357/834/2/143 (in Eng.).

Pineda J.L., 2010 — *Pineda J.L.* The relation between gas and dust in the Taurus Molecular Cloud, *Astrophysical Journal*, 721: 686. DOI: 10.1088/0004-637X/721/1/686 (in Eng.).

Smith J., Bentley A., 1985 — *Smith J., Bentley A.* Infrared sources and excitation of the W 40 complex, *Astrophysical Journal*, 291: 571–580. DOI: 10.1086/163097 (in Eng.).

Su Y., Yang J., 2020 — *Su Y., Yang J.* Local Molecular Gas toward the Aquila Rift Region, *Astrophysical Journal*, 893(2): 91. DOI: 10.3847/1538-4357/ab7fff (in Eng.).

Ulich B.L., Haas R.W., 1976 — *Ulich B.L., Haas R.W.* Absolute calibration of millimeter-wavelength spectral lines, *Astrophysical Journal*, 30: 247–258. DOI: 10.1086/190361 (in Eng.).

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
ISSN 2224-5227
Volume 345, Number 1 (2023), 192–205
<https://doi.org/10.32014/2023.2518-1483.194>

© **A.J. Ospanova***, **G.N. Shynykulova**, **N.N. Shynykulova**, **Y.B. Jumanov**, 2023
Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan.
E-mail: aidana.ospanova.96@mail.ru

ACTION OF EXTERNAL MAGNETS ON A THREE-PHASE ELECTRIC GENERATOR

Ospanova Aidana Zhandoskyzy — PhD. Kazakh National Women's Teacher Training University. Department of Physics. Almaty, Kazakhstan
E-mail: aidana.ospanova.96@mail.ru. ORCID: 0000-0002-1706-0048;
Shynykulova Gulnur Nurbekovna — master of physics, lecturer of Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan
E-mail: gulnur.shynykulova@gmail.com. ORCID: 0000-0003-4719-9160;
Shynykulova Nurgul Nurbekovna — PhD. Kazakh National Women's Teacher Training University. Department of Physics. Almaty, Kazakhstan
E-mail: sh_nurgul82@mail.ru. ORCID:0000-0002-5697-6526;
Jumanov Yerdos Boribekovich — master of engineering and technology, majoring in mathematics and computer modeling. Gymnasium named after Marziya Turlykhanova– mathematics teacher, Almaty, Kazakhstan
E-mail: zh_erdos@mail.ru. ORCID: 0009-0008-8401-9679.

Abstract. In the work, research was carried out on the principles of operation of asynchronous electric motors. It is known that an asynchronous electric machine is a common device used for converting mechanical energy into electrical or electrical energy into mechanical, as well as for converting electrical energy into electrical energy with modified parameters. However, the efforts made to improve the energy efficiency of such electric motors have not lost their significance. The article considers the influence of magnets attached outside the case on the operation of an electric generator. The dimensions of the generator in the nominal state are taken, the effect of magnets attached to the outer case of the generator on the engine power is experimentally studied, the influence of the rotation frequency on the torque, rotation speed and power is considered. and an examination was carried out. The results of the experiment show that the frequency dependence of the generator torque in the nominal mode is 0.9 % lower than with an engine power of 40 W. It has been shown that it cannot affect the magnetic field, current, voltage or power inside the generator happening. The effect of magnetic rods depends on their size, location and shape. From the result of this experiment, given that the change in power is very small, it can be said that the magnetic bars have a magnetic field.

Keywords: asynchronous electric generator, stator, rotor, magnetic motor

© А.Ж. Оспанова*, Г.Н. Шиникулова, Н.Н. Шинькулова,
Е.Б. Джуманов, 2023

Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан.
E-mail: aidana.ospanova.96@mail.ru

ҮШФАЗАЛЫ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРЛАРЫНА СЫРТҚЫ МАГНИТТЕРДІҢ ӘСЕРІ

Оспанова Айдана Жандосқызы — физика ғылымдарының кандидаты. Физика, математика және цифрлық технологиялар институты факультеті. Қазақ ұлттық қыздар педагогика университеті. Алматы, Қазақстан

E-mail: aidana.ospanova.96@mail.ru. ORCID: 0000-0002-1706-0048;

Шиникулова Гулнур Нурбековна — физика магистрі, Алматы Технологиялық Университетінің лекторы, Алматы, Қазақстан

E-mail: gulnur.shynykulova@gmail.com. ORCID: 0000-0003-4719-9160;

Шинькулова Нургүль Нурбековна — физика ғылымдарының кандидаты. Физика, математика және цифрлық технологиялар институты факультеті. Қазақ ұлттық қыздар педагогика университеті. Алматы, Қазақстан

E-mail: sh_nurgul82@mail.ru. ORCID: 0000-0002-5697-6526;

Джуманов Ердос Борибекевич — математика және компьютерлік моделдеу мамандығы бойынша техника және технология магистрі. Мәрзия Тұрлыханова атындағы гимназия - математика мұғалімі. Алматы, Қазақстан

E-mail: zh_erdos@mail.ru. ORCID: 0009-0008-8401-9679.

Аннотация. Жұмыста асинхронды электр қозғалтқыштарының жұмыс істеу принциптері бойынша зерттеулер жүргізілді. Асинхронды электр машинасы, механикалық энергияны электр энергиясына немесе электр энергияны механикалық энергияға түрлендіруге, әрі электр энергиясын параметрлері өзгертілген электр энергиясына айналдыруға қолданылатын, кеңінен тараған қондырғы екені белгілі. Дегенмен, мұндай электр қозғалтқыштардың энергетикалық тиімділігін арттыру мақсатында жасалған жұмыстар өз құнын жоғалтпады. Мақалада электр генераторының жұмысына, корпус сыртына жапсырылған магниттердің әсері қарастырылды. Генератордың номиналды жағдайындағы өлшемдері алынды, тәжірибе жүзінде генератордың сыртқы корпусына жабыстырылған магниттердің қозғалтқыш қуатына әсерін зерттелді, айналу жиілігінің айналу моментіне, айналу жылдамдығына, қуатқа әсері қарастырылды, сараптама жүргізілді. Тәжірибе қорытындысы, генератордың номиналды жағдайдағы айналу моментінің жиілікке тәуелділігі, қозғалтқыш қуаты 40 Вт болған кездегіге қарағанда 0,9 %-ға төмен екенін көрсетеді, қуаттың номиналды кездегі жиілікке тәуелділігі қозғалтқыш қуатынан 0,24 %-ға төмен екенін көрсетеді, корпус сыртына жапсырылған магниттер айтарлықтай корпус ішіндегі магнит өрісіне, не токқа, не кернеуге, не қуатқа әсер ете алмайтынын көрсетті. Магнит таяқшаларының әсері, оның өлшеміне, орналасуына, формасына да тәуелді. Бұл тәжірибе нәтижесі бойынша, қуат өзгерісінің өте аз екенін ескерсек, магнит таяқшаларының магнит өрісінің бар екенін айтуға болады.

Түйін сөздер: асинхронды электрогенератор, статор, ротор, магнит электрқозғалтқыш

Кіріспе

Ғылым мен техниканың дамуына байланысты электр энергетикасын дамытуда тиімді, арзан электр машиналары және трансформаторлардың сапасының арттырумен байланысты жұмыстардың маңызы зор.

Электр машинасы, механикалық энергияны электр энергиясына немесе электр энергияны механикалық энергияға түрлендіруге, әрі электр энергиясын параметрлері өзгертілген электр энергиясына айналдыруға қолданылатын, кеңінен тараған қондырғы. Механикалық энергияны электр энергиясына айналдыратын электр машиналары — электр генераторлары әлі де өз қажеттілігін жойған жоқ. Электр машиналарының түрлері көп.

Айнымалы токтағы электр машиналарын бір фазалы және үш фазалы, жұмыс істеу принципіне қарай синхронды және асинхронды деп бөлуге болады. Синхронды машиналарда энергияны түрлендіру процесі магнит өрісінің айналу жиілігі мен ротордың айналу жиілігі бірдей жылдамдықпен қозғалады. Синхронды машиналар генератор түрінде кеңінен қолданылады. Асинхронды машиналарда энергияны түрлендіру процесі магнит өрісінің айналу жиілігі мен ротордың айналу жиілігі тең емес жиілікте қозғалады. Асинхронды және синхронды электр қозғалтқыштарының жұмыс істеу принципіне байланысты, статор орамасындағы токтың туындайтын айналмалы магнит өрісінің маңызы зор. Синхронды немесе асинхронды машинаның жылжымайтын бөлігі корпустан және саңылауларында үш фазалы орама тартылған өзектен тұрады.

Асинхронды машиналар да қозғалтқыштар негізінде пайдаланылатын ең көп таралған электр машинасы болып табылады.

Әйтсе де, генераторларға қойылатын талаптар бойынша, электр энергиясын түрлендіру жүйесіндегі қуаттың, ПЭК пайызының жоғары болуы, генератордың мейлінше кіші, жеңіл болуы, аса сенімділікке ие болуы, әрі жұмыс істеу ұзақтығының көп болуы мен материалдық шығынның аз болуы жатады. Электр қозғалтқыштар түрлері тұрақты және айнымалы токқа арналған болып бөлінеді. Айнымалы токқа арналған электр қозғалтқыштарының алатын ерекше (Иванов, 2006).

Синхронды немесе асинхронды машинаның жылжымайтын бөлігі статордан және саңылауларында үш фазалы орама тартылған ротордан тұрады. Үш фазалы электр машиналар статорының орамалары олардың статор саңылауларында орналасуына қарай бір қабатты және екі қабатты болып бөлінеді, бір қабатты орамаларды көбіне — қуаты аз машиналарда қолданылады.

Асинхронды электр қозғалтқыштары — айнымалы токты қолданатын электр машиналарының класына жатады, әрі олар қозғалтқыш режимінде де, генератор режимінде де жұмыс істей алады. Асинхронды қозғалтқыштардың қуаты әртүрлі, бірнеше ваттан, бірнеше мың киловаттқа дейінгі аралықта

болады. Әдетте қозғалтқыштар үш фазалы желіге қосылған статордағы симметриялы үш фазалы орамнан тұрады. Үш фазалы асинхронды электр қозғалтқышының жұмыс істеу принципі, үш фазалы ток желісіне қосылған кезде, айналмалы магнит өрісінің пайда болуына негізделген. Үш фазалы жүйенің бір фазалы және екі фазалы жүйелермен салыстырғанда басты артықшылығы оның үнемділігі болып табылады. Үш фазалы тізбекте энергия үш сым арқылы беріледі, ал әр түрлі сымдардағы токтар бір-біріне қатысты фазада 120° ығысады, әр түрлі фазалардағы синусоидалы ЭҚК жиілігі мен амплитудасы бірдей. Сонымен, асинхронды машиналардың басты артықшылығы — аса жоғары сенімділігі және бағасының төмен болуы. Осы қасиеттердің арқасында ең көп таралған қолданыстағы қозғалтқыштарға жатады (Костюченко, 2012).

Электр қозғалтқыштарының үш фазалы орамынан ток жүрген кезде, статордың айналмалы магнит өрісі пайда болады және айналмалы өріс күш сызықтары ЭҚК туғызады.

Асинхронды электр қозғалтқыштарының энергия тиімділігін арттыру мәселесін шешу қазіргі кезде өте өзекті мәселенің бірі болып отыр.

Жұмыстың мақсаты, асинхронды электр қозғалтқыштарының жұмыс істеу принциптерін қарастыру, тәжірибе жүзінде генератордың сыртқы корпусына жабыстырылған магниттердің қозғалтқыш қуатына әсерін зерттеу, айналу жиілігінің айналу моментіне, айналу жылдамдығына, қуатқа әсерін қарастыру, сараптама жүргізу.

Теория. Асинхронды машиналар айнымалы токпен жұмыс жасайтын электр машиналарының класына жатады. Олар қайтымдылық қасиетіне ие, яғни олар қозғалтқыш режимінде де, генератор режимінде де жұмыс істей алады. Асинхронды қозғалтқыш екі бөліктен тұрады: статордан және ротордан (Дробов және т.б., 2015)

Статор — машинаның қозғалмайтын бөлігі, ол өзекшесі бар станинадан және үш фазалы орамнан тұрады. Орамның үш фазасы бір-бірінен 120° бұрышпен ығысады, әрі «жұлдыз», не «үшбұрыш» сызбасымен жалғанады. Ротор — қозғалтқыштың айналатын бөлігі, өзекше мен орамнан тұрады, формасы цилиндр тәрізді (Копылова, 2011).

Үш фазалы орамның бойынан жүрген ток өз айналасында магнит өрісін тудырады. Айнымалы токтың құраушылары уақыт бойынша өзгере бастайды, сол кезде магнит өрісі де өзгереді. Ал үш фазалы орамның қорытқы магнит өрісі бірдей амплитуданы сақтай отырып, әртүрлі айнала бастайды. Енді айналмалы магнит өрісіне тұйықталған өткізгіш орналастырса, электромагниттік индукция заңы бойынша электрқозғаушы күші (ЭҚК) пайда болады. Ал ЭҚК өткізгіште ток тудырады. Сол себепті магнит өрісінде орналасқан тұйық өткізгішке Ампер заңы бойынша күш әсер етеді.

Өткізгішке магнит өрісі әсер еткенде, ол белгілі бір бұрышқа бұрылады, сөйтіп магнит өрісі өткізгішке бағыттаушы күшпен әсер етеді. Магнит өрісінің өткізгішке әсері, өткізгіште қос күшті тудырады. Осы қос күштің

моментінің шамасы магнит өрісін тудырушы ток күшіне, оның оранласуына және өткізгіштің өлшемдері мен бағытына тәуелді:

$$\vec{M} = \vec{P} \cdot \vec{B}$$

мұндағы \vec{B} — магнит индукциясының векторы, P — өткізгіштің магнит моментінің векторы.

Ал магнит өрісінің I өткізгішке әсері:

$$\vec{P}_m = I \cdot \vec{S} \cdot n,$$

мұндағы S — өткізгіштің ауданы.

Тоғы бар өткізгішке магнит өрісінің әсер күшін Ампер зерттеп, ол күштің мәнін былайша көрсетті:

$$\vec{F} = kI\vec{B} \sin \alpha$$

мұндағы k — пропорционалдық коэффициент, I — өткізгіштегі ток, B — магнит индукциясы, α — ток бағыты мен индукция векторының арасындағы бұрыш. Осы күштің шамасын Ампер күші деп атайды. Ампер күшінің бағытын сол қол ережесі бойынша анықтауға болады.

Электромагниттік индукция құбылысы бойынша: тұйық контурдағы индукциялық ток контур ауданы арқылы өтетін индукция ағыны өзгергенде ғана туады. Олай болса, индукциялық тізбекте электр қозғаушы күші пайда болып, ол *электромагниттік индукцияның электр қозғаушы күші* (э.к.к) деп аталады.

$$\varepsilon_{\text{инд}} = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Бұл өрнек электромагниттік индукцияның электр қозғаушы күші үшін *Фарадей заңы* деп аталады.

Статор орамасы үш фазалы ток желісіне қосылған кезде айналмалы магнит өрісі пайда болады, ол ротордың қысқа ашық орамасында ЭҚК пайда болуына әкеледі. Бұл жағдайда ротор орамасының өзекшелерінде ток пайда болады. Осы токтың айналмалы магнит өрісімен әрекеттесуі нәтижесінде роторда электромагниттік күштер пайда болады. Мұндай күштердің жиынтығы электромагниттік айналу моментін туғызады, оның әсерінен асинхронды қозғалтқыштың роторы статор өрісінің айналуына қарай $n_2 < n_1$ жиілігімен айналады. Бұл жағдай, машинаның қозғалтқыш ретінде жұмыс істеуіне әкеледі, егер генератор режимінде жұмыс істейтін болса, онда статор орамасы желіге қосылып, ал ротор механикалық энергия көзі болып табылатын жетек қозғалтқышы арқылы асинхронды машинаның магнит өрісінің айналу бағытында $n_2 > n_1$ жиілігімен айналады, яғни, ротордың статор өрісіне қатысты қозғалыс бағыты керісінше өзгереді (Дуюонов, 2018).

Асинхронды қозғалтқыштағы статордың үш фазалы орамында айналмалы магнит өрісі пайда болады, оның жиілігі:

$$n = \frac{60f_1}{p}$$

мұндағы n — статордың магнит өрісінің айналу жиілігі (айн/мин); f_1 — тізбектің жиілігі (50 Гц), p — қозғалтқыштың полюстерінің қосақталған саны.

Магнит өрісі статор мен ротордағы орамның өткізгіштерін қиып өтіп, индукциялық электрқозғаушы күшін тудырады. Ал, ротор орамының қысқа тұйықталуында ЭҚК-нің әсерінен ток туындайды. Осы токтың айналмалы магнит өрісімен әсерлесуі моменттің пайда болуына әкеледі. Егер туындаған момент айналмалы валдың тежеуші моментінен (подшипниктер расындағы үйкеліс, желдеткіш, валдың кернеуі) көп болса, онда ротор өріске қарай бұрылады. Статордың магнит өрісін ротор қуып жете алмайды (кері жағдайда, ЭҚК, ток және айналмалы момент нольге тең болады), бірақ ол кешігіп айналады, оны сырғанау шамасымен сипаттайды:

$$S = \frac{n - n_1}{n} \cdot 100\%$$

S — сырғанау шамасы, n — статордың магнит өрісінің айналу жиілігі (айн/мин), n_1 — ротордың айналу жиілігі.

Асинхронды қозғалтқыштың сипаттамалары ретінде механикалық сипаттаманы және жұмыс сипаттамасын айтады.

Механикалық сипаттамасы ретінде, айналу жиілігінің электромагниттік моментке тәуелділігін $n=f(M)$ және магниттік моменттің сырғанау шамасына тәуелділігін $M=f(S)$ айтады.

Үшфазалы асинхронды қозғалтқыштың айналу моменті мына өрнекпен анықталады:

$$M = \frac{3 \cdot U_{\phi}^2 \frac{r_2'}{s}}{\Omega \left[\left(r_1 + \frac{r_2'}{s} \right)^2 + (x_1 + x_2')^2 \right]}, \quad (\text{Н} \cdot \text{м})$$

мұндағы, $\Omega = \frac{2\pi \cdot n}{60}$ — магнит өрісінің бұрыштық механикалық жылдамдығы, (рад/с); r_1, r_2' — қозғалтқыштың статорлық және роторлық орамдарының кедергілері, U_{ϕ} — тізбектегі фазалық кернеу.

$M=f(S)$ тәуелділігін анықтауға арналған Клосс формуласы:

$$M = \frac{2 \cdot M_m}{\frac{s}{s_m} + \frac{s_m}{s}}$$

мұндағы, M_m — максималды айналмалы момент; s_m — максималды момент кезіндегі сырғанау шамасы.

Ал номиналды моментті мына теңдікпен анықтайды:

$$M_m = 9,55 \cdot \frac{P_H}{n_H}$$

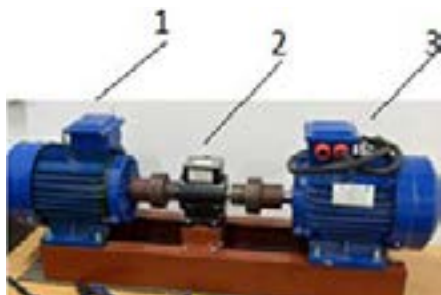
мұндағы – қозғалтқыш валының номиналды қуаты (Вт), n_n – номиналды кернеу жағдайындағы ротордың айналу жиілігі.

Ал жұмыстық сипаттамасы ретінде асинхронды қозғалтқыштың роторының айналмалы жылдамдығының айналу моментіне тәуелділігін $\omega=f(M)$, айналу жылдамдығының қуатқа тәуелділігін $\omega=f(N)$, жиіліктің айналу моментіне $v=f(M)$, қуатқа $v=f(N)$ және айналу жылдамдығына $v=f(\omega)$ тәуелділігі жатады (Костенко, 1973).

Осы сипаттамалардың барлығы қозғалтқыштың энергетикалық тиімділігін арттыру мақсатында қолданылады. Ол үшін әртүрлі тәсілдер бар. Соның бірі магнит таяқшаларының әсері болып табылады. Магнит таяқшалары генераторларға екі тәсілмен әсер ете алады. Олар, біріншіден, қозғалтқыштың статорында пайда болатын магнит өрісімен әсерлесетін магнит өрісін тудыра алады, нәтижесінде қозғалтқыштағы магнит өрісі өзгеріп, генерацияланған кернеудің өзгеруіне әкеледі. Екіншіден, магнит таяқшалары электр өрісін тудырып, нәтижесінде қозғалтқыш жанында тұрған сымдарда және басқа да электрлік қондырғыларда электромагниттік кедергілердің пайда болуына әкеледі. Бұл кедергілер сигналдарға және жақын орналасқан электр қондырғыларының жұмыс істеу тиімділігін төмендетеді. Магнит таяқшалары қозғалыста болса, онда электр қозғалтқыштарының орамдарының қызып кетуіне себепші болады. Сонымен магнит таяқшаларының магнит өрісі оның орналасуына, қозғалысына байланысты электр қозғалтқышының энерго тиімділігінің артуына, не кемуіне әкеледі. Магнит таяқшаларының электр қозғалтқыштарына әсері күрделі, әрі көптеген факторларға байланысты, ол орналасу ара қашықтығы, магнит таяқшаларының қозғалысы, магнит таяқшаларының өлшемі және формасы, электр қозғалтқыштың құрылымы мен параметрлері, тағы басқа факторлар. Электр қозғалтқыштарда магнит таяқшаларын жапсыру арқылы жасалған жұмыстардың бір бөлігі қозғалтқыштарда энергетикалық тиімділіктің артқанын көрсетті (Лысенко, 2018).

Жұмыста генератордың сыртқы корпусына өлшемдері бірдей, 3 магнит, 18 магнит және 21 магнит жапсырылып, айналу жиілігінің айналу моментіне, айналу жылдамдығына, қуатқа әсерін қарастырылды.

Зерттеу нысаны мен қондырғысына сипаттама. Зерттеу нысаны Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университетінің зертханасы, қолданылған құрал — АИР112МВ8 маркалы асинхронды электрқозғалтқышы 1-сурет. Жалпы өнеркәсіптік мақсаттағы АИР112МВ8 маркалы асинхронды электр қозғалтқыштарының мақсаты – электр энергиясын механикалық энергияға айналдыру. Бұл әртүрлі механизмдердің қозғалысы мен айналуын қамтамасыз ету үшін қажет. Асинхронды типтегі электр қозғалтқыштары құрылыста, ауыл шаруашылығында және өнеркәсіпте қолданылатын әртүрлі қондырғыларға орнатылады. АИР112МВ8 маркалы асинхронды электр қозғалтқыштарының артықшылықтары: ұзақ және тұрақты жұмыс істеуге арналған; энергия тиімділігі; орнату және пайдалану ыңғайлылығы (Костенко, 1973).



Сур.1. Зерттеу қондырғысы. 1-асинхронды электрқозғалтқышы, 2-динамикалық датчик, 3-электргенераторы
(Fig. 1. Research facility. 1-asynchronous electric motor, 2-dynamic sensor, 3-electric generator)



Сур. 2. Сенсорлы өлшеу құралы
(Fig. 2. Sensor measuring tool)



Сур. 3. Электргенератор корпусына жабыстырылған магниттер
(Fig. 3. Magnets glued to the generator body)

АИР112МВ8 маркалы асинхронды электр қозғалтқыштарының техникалық сипаттамасы: қозғалтқыш қуаты – 3 кВт, $\cos \varphi$ – 0,71, айналу жиілігі 750 айн/мин, номиналды ток – 7,8 А, кернеу (220-380) В, номиналды айналмалы момент – 40,9 Н·м, айналмалы моменттер қатынасы M_{II}/M_{II} – 1,8, айналмалы моменттер қатынасы M_{max}/M_{II} – 2,2, айналмалы моменттер қатынасы M_{min}/M_{II} – 1,4, токтардың қатынасы I_{II}/I_{II} – 6, ПӘК – 80 %, инерция моменті J – 0,0288 кг·м², айналмалы валдың диаметрі – 32 мм, полюстер саны -8. Қозғалтқыш 50 Гц айнымалы ток желісінде пайдалануға арналған және статор орамасының сыртқы изоляциясы F класына сәйкес келеді, сондықтан 150°C дейін қыздыруға төтеп бере алады. IP55 класының жоғары қорғанысы шаң мен ылғалдан қорғауды қамтамасыз етеді. Келесі қолданылған қондырғы – Gsi309-1 Dynamic Torque Tester (2- сурет) айналу моментін, жылдамдығын және қуатын анықтауға арналған жоғары дәлдіктегі құрылғы. 3-суретте электргенератордың сыртқы корпусына магниттің қалай жабыстырылғаны көрсетілген.

Эксперимент нәтижесі

Зерттеулер ең алдымен қондырғыны орналастырудан басталды. Қондырғы 1-суреттегідей бекітілгеннен кейін, алғашқы өлшемдер алынды.

Қондырғының өлшемдері номиналды жағдайда (1-кестеде көрсетілген) және қозғалтқыш қуаты 40 Вт (2-кесте) мөлшерінде алынды. Бұл жағдайлар

сыртқы корпусында магнит болмаған жағдай. Өлшеулер нәтижелері кесте түрінде, әрі график түрінде берілген.

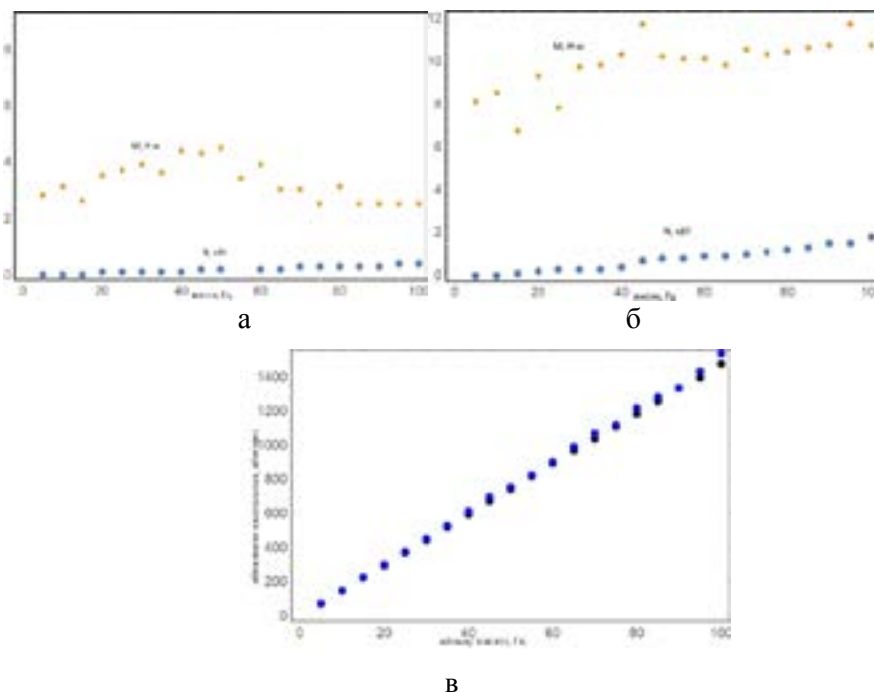
1-кесте. Номиналды жағдайдағы жиіліктің айналмалы моментке, айналу жылдамдығына, қуатқа тәуелділігі

Жиілік ν , (Гц)	Айналмалы момент M , (Н·м)	Айналу жылдамдығы ω , (айн/мин)	Қуат N , кВт
5	2,8–3	74	0
10	3,1	151	0
15	2,6	228	0
20	3,5	302	0,1
25	3,7	377	0,1
30	3,9	454	0,1
35	3,6	532	0,1
40	4,4	614	0,1
45	4,3	699	0,2
50	4,5	756	0,2
55	3,4	827	0,2
60	3,9	905	0,2
65	3	992	0,2
70	3	1071	0,3
75	2,5	1121	0,3
80	3,1	1219	0,3
85	2,5	1285	0,3
95	2,5	1435	0,3-4
100	2,5	1538	0,4

2- кесте. Қозғалтқыш қуаты 40 Вт болған жағдайдағы өлшемдер

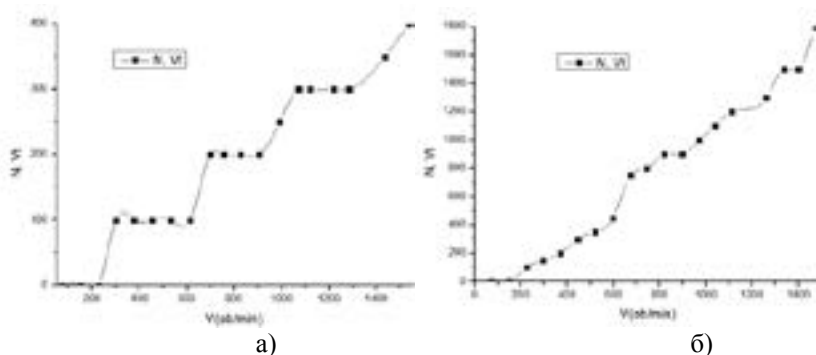
Жиілік ν , (Гц)	Айналмалы момент M , (Н·м)	Айналу жылдамдығы ω , (айн/мин)	Қуат N , кВт
5	8,1	72	0
10	8,5	149	0
15	6,7	226	0,1
20	9,3	296	0,15
25	7,8	372	0,25
30	9,7	446	0,3
35	9,8	521	0,35
40	10,3	598	0,45
45	11,7	675	0,75
50	10,2	743	0,8
55	10,1	820	0,8
60	10,1	897	0,9
65	9,8	970	0,9
70	10,5	1039	1,0
75	10,3	1111	1,1
80	10,4	1185	1,2
85	10,6	1260	1,3
90	10,7	1337	1,5
95	11,7	1399	1,5
100	10,7	1479	1,6

Зерттеу нәтижесінде, 4-суреттегідей салыстырмалы графиктер шықты



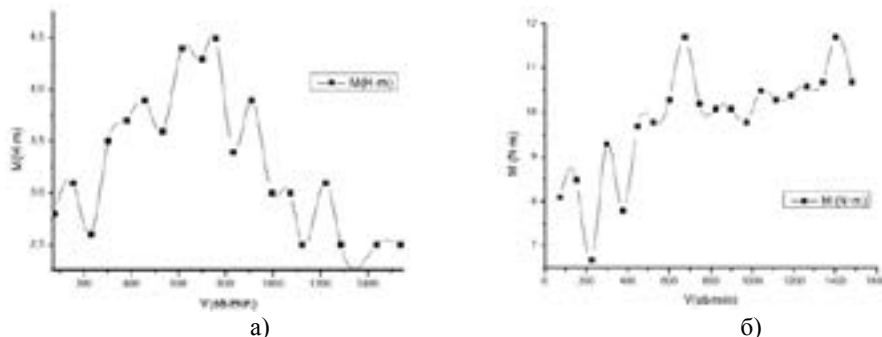
Сур.4. Салыстырмалы графиктер а) номиналды жағдайдағы қуат пен айналу моментінің айналу жиілігіне тәуелділігі; б) қозғалтқыш қуаты 40 Вт болған жағдайдағы қуат пен айналу моментінің айналу жиілігіне тәуелділігі; в) номиналды және қозғалтқыш қуаты 40 Вт болған жағдайдағы айналу жылдамдығының айналу жиілігіне тәуелділігі

(Fig. 4. Comparative graphs a) dependence of the power and torque in the nominal condition on the rotation frequency; b) dependence of power and torque on rotation frequency in the case of engine power of 40 W; c) dependence of rotation speed on rotation frequency in the case of nominal and motor power of 40 W)



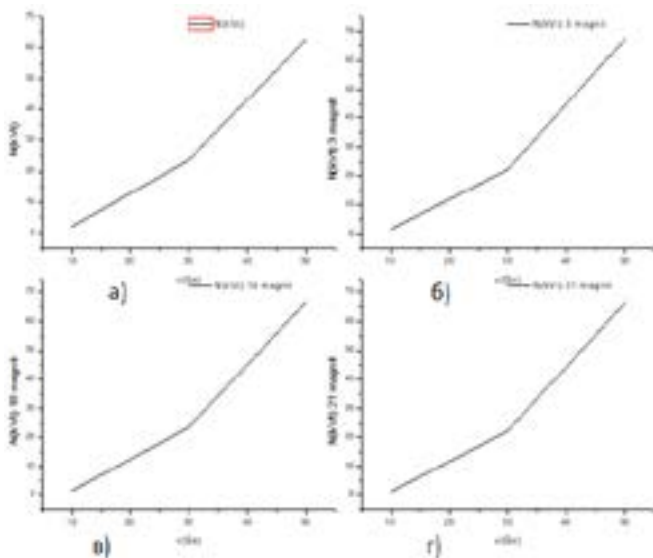
Сур.5. Айналу жылдамдығының қуатқа тәуелділік графигі а) номиналды жағдай; б) қозғалтқыштың қуаты 40 Вт жағдай

(Fig. 5. Power dependence graph of rotation speed a) nominal condition; b) motor power is 40 W)

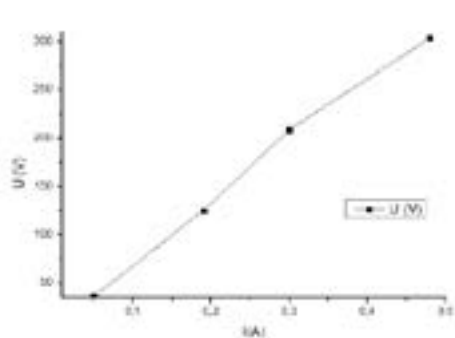


Сур. 6. Айналу жылдамдығының айналу моментіне тәуелділік графигі. а) номиналды жағдай; б) қозғалтқыштың қуаты 40 Вт жағдай
 (Fig. 6. The graph of the dependence of the rotation speed on the torque. a) nominal condition; b) motor power is 40 W)

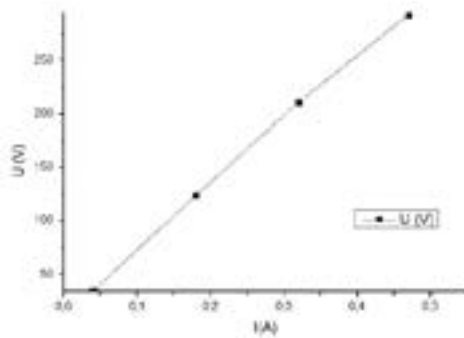
Бұл графиктер (4, 5, 6–сурет) корпусқа ешқандай сыртқы магнит әсері болмаған кездегі өлшемдер. Электрогенератордың корпусының сыртқы бөлігіне магнит жабыстырылған (3–сурет) кездегі өлшемдер мен магнит болмаған кездегі өлшемдер салыстырылып, айналу жиілігінің қуатқа тәуелділігі (7–сурет), вольтамперлік сипаттамасы (8–сурет) анықталды.



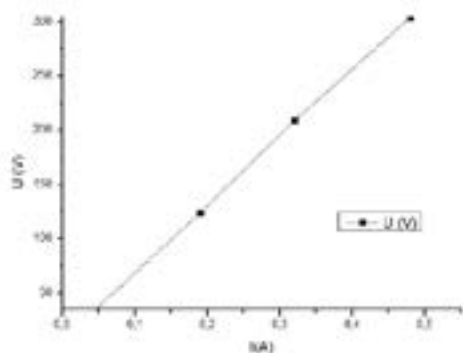
Сур.7. Айналу жиілігі мен қуаттың тәуелділік графигін салыстыру:
 а) магнитсіз; б) корпус сыртына 3 магнит жапсырылған;
 в) корпус сыртына 18 магнит жапсырылған;
 г) корпус сыртына 21 магнит жапсырылған
 (Fig. 7. Comparison of the dependence graph of rotation frequency and power:
 a) without magnet; b) 3 magnets are attached to the outside of the case;
 c) 18 magnets are attached to the outside of the case;
 d) 21 magnets are attached to the outside of the case)



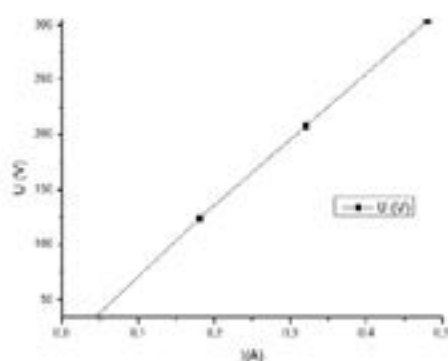
а)



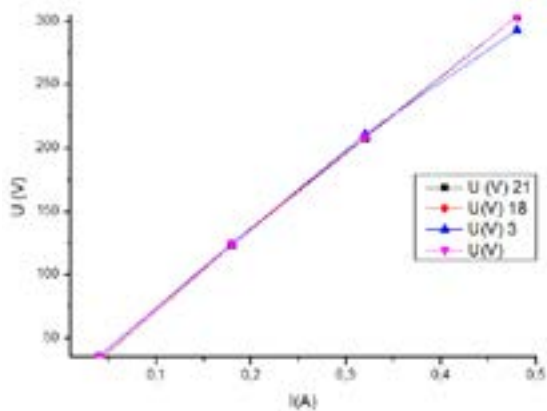
б)



в)



г)



д)

Сур. 8. Вольтамперлік сипаттама: а) магнитсіз жағдай; б) корпус сыртына 3 магнит жапсырылған; в) 18 магнит жапсырылған; г) 21 магнит жапсырылған д) барлық жағдайларды салыстыру үшін алынған график (Fig. 8. Voltammeteric characteristics: a) non-magnetic condition; б) 3 magnets are attached to the outside of the case; в) 18 magnets are attached; д) 21 magnets are attached е) graph obtained for comparison of all cases)

Нәтижелер мен сараптамалар

Жұмыстағы мақсат бойынша, асинхронды электр қозғалтқыштарының жұмыс істеу принциптері қарастырылды, генератордың номиналды жағдайындағы өлшемдері алынды, тәжірибе жүзінде генератордың сыртқы корпусына жабыстырылған магниттердің қозғалтқыш қуатына әсерін зерттелді, айналу жиілігінің айналу моментіне, айналу жылдамдығына, қуатқа әсері қарастырылды, сараптама жүргізілді.

Зерттеулер нәтижесі бойынша алынған қорытындылар:

–асинхронды электр қозғалтқыштарының жұмыс істеу принциптері қарастырылды;

–генератордың номиналды жағдайындағы өлшемдері алынды (4–сурет а, б), салыстырмалы графиктер нәтижесі, номиналды жағдайдағы айналу моментінің жиілікке тәуелділігі, қозғалтқыш қуаты 40 Вт болған кездегіге қарағанда 0,9 % -ға төмен екенін көрсетеді;

–қуаттың номиналды кездегі жиілікке тәуелділігі (4–сурет а, б), қозғалтқыш қуатынан 0,24 % -ға төмен екенін көрсетеді;

–(4–сурет, в) номиналды жағдай мен 40 Вт жағдай үшін алынған айналу жылдамдығы мен жиілік тәуелділіктерінің өзгеріссіз екені шығады;

–айналу жылдамдығының қуатқа тәуелділік графигінен (5–сурет, а, б) айырмашылықтардың 0,24 % екені шығады;

–айналу жылдамдығының айналу моментіне тәуелділік графигінен (6–сурет) номиналды жағдай үшін айналу моментінің 1% төмен екені шығады;

–7-сурет бойынша, айналу жиілігі мен қуаттың тәуелділік графигі салыстырылды, магнитсіз жағдай, корпус сыртына 3 магнит жапсырылған жағдай, корпус сыртына 18 магнит жапсырылған жағдай, корпус сыртына 21 магнит жапсырылған жағдайлар қарастырылды, нәтиже – корпус сыртындағы магниттердің корпус ішіндегі магнит өрісіне, айналу жиілігіне, қуатқа әсері болмады, графиктер өзгеріссіз;

–8–сурет бойынша, алынған вольтамперлік сипаттамада магнитсіз жағдай, корпус сыртына 3 магнит жапсырылған жағдай, 18 магнит жапсырылған жағдай, 21 магнит жапсырылған жағдайлар салыстырылып, график тұрғызылды, нәтиже – корпус сыртына жапсырылған магниттер айтарлықтай корпус ішіндегі магнит өрісіне, не токқа, не кернеуге әсер ете алмайды.

Қорытынды

Тәжірибе қорытындысы бойынша, генератордың сыртқы корпусына жабыстырылған магниттердің қозғалтқыш қуатына әсерін зерттелді, айналу жиілігінің айналу моментіне, айналу жылдамдығына, қуатқа әсері қарастырылды, сараптама жүргізілді. Электр қозғалтқыштардың энергетикалық тиімділігін арттыру мақсатында жасалған бұл жұмыс бойынша, магнит таяқшалары сыртқы корпусқа жапсырылғанның өзінде қуатта аз да болса өзгеріс бар. Осыған орай, магнит таяқшаларының қозғалтқыштың магнит өрісіне әсері әлсіз екенін, бірақ бар екенін айтуға болады. Болашақта магнит таяқшаларының санын көбейтіп, корпус ішіне жапсырып, энергетикалық тиімділігін зерттеуге болады.

ӘДЕБИЕТ

Иванов-Смоленский А.В., 2006 — *Иванов-Смоленский А.В.* Электрические машины, том 1, М., издательский дом МЭИ.

Дробов А.В., Галушко В.Н., 2015 — *Дробов А.В., Галушко В.Н.* Электрические машины: учеб. пособие—Минск: РИПО, – 292 с.

Вольде А.И., 1974 — *Вольде А.И.* Электрические машины: Учебник для студентов высш. учебн.заведений.-Л.: Энергия, – 840 с.

Копылова И.П., 2011 — *Копылова И.П.* Проектирование электрических машин: учебник для вузов / под ред.— 4-е изд., перераб. и доп. —М.: Издательство Юрайт, — 767 с.

И.Н. Дубровский, В.И. Костюченко, 2012 — *И.Н. Дубровский, В.И. Костюченко.* Электрические машины: уч.пособие/ – Комсомольск –на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2012. – 160 с.

Дуюнов Е.Д., Дуюнов Д.А., 2018 — *Дуюнов Е.Д., Дуюнов Д.А.* Совмещенные — обмотки электрических машин: справочник/ - Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, — 245с.

Костенко М.П., Пиотровский Л.М., 1973 — *Костенко М.П., Пиотровский Л.М.* Электрические машины. В2-х ч. Ч.2 – Машины переменного тока. Учебник для студентов высш.техн.учебн.заведений. – Л.: Энергия, — 648 с.

Петров Г.Н., 1963 — *Петров Г.Н.* Электрические машины. Ч.2: Асинхронные и синхронные машины. -М.-Л.: Госэнергоиздат, — 416 с.

REFERENCES

Ivanov-Smolensky A.V., 2006 — *Ivanov-Smolensky A.V.* Electric machines, volume 1, Moscow, Publishing house of MEI.

Drobov A.V., Galushko V.N., 2015 — *Drobov A.V., Galushko V.N.* Electric machines: textbook. manual – Minsk: RIPO, – 292 p.

Volde A.I., 1974 — *Volde A.I.* Electric machines: Textbook for Higher education students. textbook.institutions. –L.: Energy, – 840 p.

Kopylova I.P., 2011 — *Kopylova I.P.* Designing electric machines: textbook for universities / ed.— 4th ed., reprint. and additional. —М.: Yurayt Publishing House, — 767 s.

I.N. Dubrovsky, V.I. Kostyuchenko, 2012 — *I.N. Dubrovsky, V.I. Kostyuchenko.* Electric machines: textbook/ – Komsomolsk–on-Amur: KnAGTU, 2012. – 160 p.

Duyunov E.D., Duyunov D.A., 2018 — *Duyunov E.D., Duyunov D.A.* Combined —windings of electric machines: handbook/ - Moscow: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, —245s.

Kostenko M.P., Piotrovsky L.M., 1973 — *Kostenko M.P., Piotrovsky L.M.* Electric machines. В2-h. h.2 – AC machines. Textbook for students of higher tech.textbook.institutions. – L.: Energy, — 648 s.

Petrov G.N., 1963 — *Petrov G.N.* Electric machines. Part 2: Asynchronous and synchronous machines. -M. -L.: Gosenergoizdat, –416 p.

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY
OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
ISSN 2224-5227
Volume 345, Number 1 (2023), 206–215
<https://doi.org/10.32014/2023.2518-1483.195>

ӨЖ 001.89:004.6. 004.021

Shomshekova S.A.

Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan.

Email: shomshekova@aphi.kz

A REVIEW OF MACHINE LEARNING APPLICATIONS IN ASTRONOMY AND ASTROPHYSICS

Shomshekova S.A. — PhD, Senior Researcher. Fesenkov Astrophysical Institute.
Almaty, Kazakhstan

E-mail: shmshekva-saule@mail.ru; shomshekova@aphi.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9841-453X>.

Abstract. Machine learning methods are used to predict the redshifts of galaxies. Astronomers try to classify distant galaxies and measure their redshifts using high-frequency resolved spectra, that is, precise observations of spectral line details. Currently, machine learning is widely used in fundamental problems of extragalactic astronomy and observational cosmology, making it possible to create large-scale maps of the distribution of astronomical objects in the Universe. The purpose of this article is to provide an overview of the main methods of machine learning in astronomy and astrophysics. In general, there are two main methods of machine learning: with a teacher and without a teacher. The supervised learning method is often used in astronomy. Using supervised machine learning, it is possible to predict the physical characteristics of astronomical objects based on reviews of photometric data from the sky. It is a standard tool for astronomers to determine the photometric redshift (photo- z) of extragalactic objects, classify Ia supernovae, special-type quasars, and use machine learning algorithms to identify objects in an astronomical CCD frame. In addition, optical binary systems can be detected using astrometric catalogs using artificial intelligence. Among the machine learning approaches with a teacher in astronomy, artificial neural networks (ANNs) or algorithms based on the so-called "decision tree" method are often used. Recently, reference vector and k-nearest neighbor methods have become more popular due to the increasing power of processors. The article describes actual directions in astronomy and astrophysics where machine learning is used for students and graduate students of higher educational institutions (HEIs).

Keywords: machine learning, Big Data, artificial intelligence, artificial neural network, Classification, Assumption

С.А. Шомшекова

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизикалық институт, Алматы, Қазақстан.

E-mail: shomshekova@aphi.kz

АСТРОНОМИЯ ЖӘНЕ АСТРОФИЗИКА САЛАЛАРЫНДА МАШИНАМЕН ОҚЫТУДЫ ҚОЛДАНУ БОЙЫНША ШОЛУ

Шомшекова С.А. — PhD, Аға ғылыми қызметкер. В.Г. Фесенков атындағы Астрофизикалық институт. Алматы, Қазақстан

E-mail: shmshekva-saule@mail.ru; shomshekova@aphi.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9841-453X>.

Аннотация. Машинамен оқыту әдістері галактикалардың қызыл ығысуын болжауға қолданылады. Астрономдар алыс галактиканы жіктеуге және қызыл ығысуын өлшеуге жоғары жиілікті ажыратылатын спектрлерді, яғни спектрлік сызықтардың бөлшектеріне нақты бақылауды жүргізуге талпынады. Қазіргі уақытта, машинамен оқыту галактикадан тыс астрономия мен бақылау ғарышнамасы бойынша іргелі мәселелерде кеңінен қолданылады, бұл Әлемдегі астрономиялық объектілердің таралуының ауқымды карталарын құруға мүмкіндік береді. Бұл мақаланың мақсаты машинамен оқытуды қолдана отырып астрономия және астрофизика салаларында қандай зерттеу бағыттарында пайдалана алатындығымыз және жалпы “машинамен оқытудың” негізгі әдістері бойынша шолу жүргізілді. Жалпы машинамен оқытуда басты екі әдіс бар: басқарылатын және басқарылмайтын. Астрономияда басқарылатын оқыту әдісі жиі қолданылады. Басқарылатын машинамен оқыту арқылы аспанның фотометрлік мәліметтерінің шолулары негізінде астрономиялық объектілердің физикалық сипаттамаларына болжам жасауға болады. Астрономдарға галактикадан тыс объектілерге фотометрлік қызыл ығсуды (photo-z) анықтау, Ia типті асқын жаңа жұлдыздарды, арнайы типтегі квазарларды жіктеуге, астрономиялық CCD-кадрдағы объектілерді анықтауға машинамен оқытудың алгоритмдерін қолдану стандартты құрал болып табылады. Сонымен қатар, жасанды интеллект әдісі арқылы астрометрлік каталогтарды қолдану арқылы оптикалық қос жұлдыздарды табуға болады. Астрономияда машинамен оқытудың басқарылатын тәсілдерінің ішіндегі жиі қолданылатын жасанды нейронды желі (ЖНЖ) немесе ағаштар шешіміне негізделген алгоритмдер. Соңғы кездері, процессорлардың қуаттылығының артуына байланысты тіректі векторлық машина немесе k-ең жақын көрші тәсілдерінің танымалдылығы айтылған. Мақалада, Жоғарғы оқу орындарының (ЖОО) астрономия және астрофизика салаларындағы студенттер мен магистранттарға арналған машинамен оқытудың өзекті бағыттары сипатталды.

Түйін сөздер: машинамен оқыту (Machine Learning), Үлкен Мәліметтер (Big Data), жасанды интеллект (зияткерлік), жасанды нейронды желі, жіктеу (классификация), болжам жасау

Бұл мақала ҚР БҒМ Ғылым Комитетімен қаржыландырылды (Грант AP09258811).

С.А. Шомшекова

Астрофизический институт имени В.Г. Фесенкова, Алматы, Казахстан.

E-mail: shomshekova@aphi.kz

ОБЗОР ПО ПРИМЕНЕНИЮ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В АСТРОНОМИИ И АСТРОФИЗИКЕ

Шомшекова С.А. — PhD, старший научный сотрудник. Астрофизический институт имени В.Г. Фесенкова, Алматы, Казахстан

E-mail: shmshekva-saule@mail.ru; shomshekova@aphi.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9841-453X>.

Аннотация. Методы машинного обучения используются для предсказания красных смещений галактик. Астрономы пытаются классифицировать далекие галактики и измерять их красное смещение, используя высокочастотные разрешенные спектры, то есть точные наблюдения деталей спектральных линий. В настоящее время машинное обучение широко используется в фундаментальных задачах внегалактической астрономии и наблюдательной космологии, позволяя создавать крупномасштабные карты распределения астрономических объектов во Вселенной. Цель этой статьи — предоставить обзор основных методов машинного обучения в астрономии и астрофизике. В целом, существует два основных метода машинного обучения: с учителем и без учителя. Метод контролируемого (с учителем) обучения часто используется в астрономии. Используя контролируемое машинное обучение, появляется возможность прогнозировать физические характеристики астрономических объектов на основе обзоров фотометрических данных неба. Это стандартный инструмент астрономов для определения фотометрического красного смещения (photo-z) внегалактических объектов, классификации сверхновых типа Ia, квазаров особого типа и использования алгоритмов машинного обучения для идентификации объектов в ПЗС-кадре. Кроме того, оптические двойные системы можно обнаружить с помощью астрометрических каталогов с использованием искусственного интеллекта. Среди подходов машинного обучения с учителем в астрономии часто используются искусственные нейронные сети (ИНС) или алгоритмы, основанные на так называемом методе “дерево решений”. В последнее время методы опорных векторов и k-ближайших соседей стали более популярными из-за увеличения мощности процессоров. В статье описаны актуальные направления в астрономии и астрофизике где используются машинное обучения для студентов и магистрантов высших учебных заведений (вузов).

Ключевые слова: машинное обучение (Machine Learning), Большие

Данные (Big Data), искусственный интеллект, искусственная нейронная сеть, классификация, предположение

Кіріспе

Соңғы жылдары ауқымды астрономиялық бақылау мәліметтерінің көптігінен, оларды жылдам уақытта өңдеу және талдау мақсатында “машинамен оқыту” саласы астрономияда және астрофизикада (сондай-ақ, медицина, экономика және т.б.) салаларда өзекті бағыт болып қалыптасып келеді. Қазақстанның ЖОО жаратылыстану ғылым салысындағы мамаларды даярлауда “машинамен оқытудың” әдістерін егжей-тегжей менгеру маңыздылығы артылуда. Бұған себеп, бір ғана астрономия саласын алғанда, Әлемде бірқатар ірі астрофизикалық жобалар мен ғарыштық миссиялар жүзеге асырылуда және жоспарлануда, мысалы: Pan-STARRS (<http://pan-starrs.ifa.hawaii.edu/public/>), DESI (<http://desi.lbl.gov>), Large Synoptic Survey Telescope (<https://www.lsst.org/scientists>), Спектр-ПГ (<http://srg.iki.rssi.ru>), EUCLID (<http://sci.esa.int/euclid/>) және т.б., жылына петабайттарды (ПБ) немесе тіпті эксабайтты (ЭБ) бақылау мәліметтерін түрлендіреді. Қазіргі кезде, В.Г. Фесенков атындағы Астрофизикалық институтының астрономиялық хабқа айналған ҚР ҰҒА академигі Т.Б. Омаров атындағы Ассы-Түрген обсерваториясының телескоптарының бірінде бір түнде 30 гигабайт ақпарат жиналады, оларды әрине жылдам уақытта өңдеу қажет.

Аспанды цифрлық шолудың, басты мақсаты Әлемнің пайда болуының және эволюциясының ғарышнамалық теориясын тексеру, Ғаламдағы астрономиялық объектілердің таралуының ауқымды карталарының негізінде Қараңғы материя мен Қараңғы энергияның табиғатын және басқада іргелі зерттеулерге байланысты сұрақтарды зерттеу.

Зерттеудің мақсаты

Бұл мақаланың мақсаты машинамен оқытуды қолданып, астрономия және астрофизика саласында қандай зерттеу бағыттарында қолдана алатындығымыз және жалпы “машинамен оқытудың” негізгі әдістері бойынша шолу жүргізу болып табылады.

Машинамен оқыту (Machine Learning) — жаңа мәліметтерден қандай да бір заңдылықтарды іздеу үшін бар мәліметтерді қолдану арқылы, алгоритмдерді құруға математикалық әдістердің жиынтығын белгілеуге қолданылады. Ал, математикалық аппараттар — сызықты алгебрадан, қолданбалы математикалық статистикадан, сандық әдістерді оңтайландырудан, дискретті талдаудан тұрады (Кирюхина, 2021).

Бастапқы уақытта, машинамен оқыту жасанды интеллект саласындағы зерттеулердің бір бөлігі болып табылды. Ол 1990 жылы жеке бағыт ретінде бөлініп шықты. Астрономияда мәліметтердің көптігіне және технологияның дамылсыз жетілдіріліп отыратындығына байланысты және мәліметтерді сақтау маңызды болғандықтан, машинамен оқытуға жүгінген жаратылыстану ғылымының ішіндегі басты салалардың бірі болып табылды. Яғни, бақылау

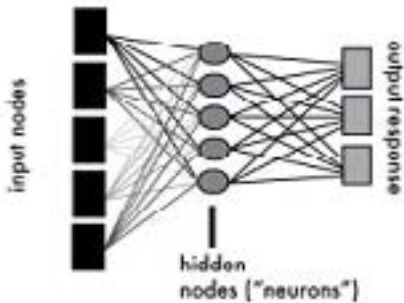
базаларынан ақпараттарды алу үшін мәліметтерге интеллектуалды тұрғыда талдау жүргізу қолдану (Kreikenbohm, 2018). Астрономияда мәліметтерді талдау бойынша жақсы тарихи мысал бар, 1996 жылы Цефеид айнымалыларын автоматты түрде табуға компьютерленген алгоритмдер арқылы сиретілген мәліметтер бойынша орташа шамадағы және амплитудаларын және олардың периодтарын анықтауға қолданылды (Stetson, 1996).

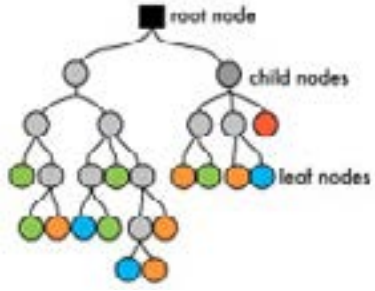
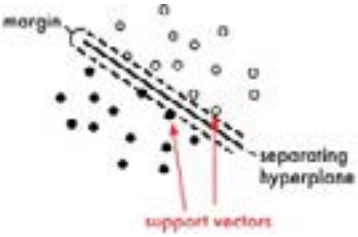
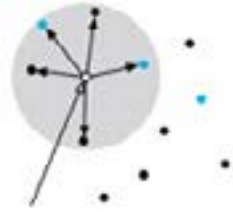
Әдістер мен материалдар

Жалпы машинамен оқытуда басты екі әдіс бар: басқарылатын және басқарылмайтын. Астрономияда басқарылатын оқыту әдісі жиі қолданылады. Бұл әдіс зерттелетін объектілердің мәліметтер жиынтығына негізделген (мысалға, бақыланатын объектілерді жіктеу), олардың жауабы жоғары дәлдікпен бізге белгілі. Астрономияда жиі қолданылатын жасанды нейронды желі (ЖНЖ) немесе ағаштар шешіміне негізделген алгоритмдері болып табылады. Мысалы, жасанды интеллект әдісі арқылы астрометрлік каталогтарды қолдану арқылы оптикалық қос жұлдыздарды табу. HIPPARCOS және Pan-STARRS каталогтары, шамамен 100 мың объектілер негізінде зерттеу жүргізілді (Сажин, 2022). Соңғы кездері, процессорлардың қуаттылығының өсуіне байланысты тіректі векторлық машина немесе k-ең жақын көрші тәсілдері танымал болып келеді 1-кестеде берілген.

Басқарылмайтын оқыту әдісінде дұрыс шешімдердің нұсқалары жоқ, тек қана объект және олардың белгілілері бар. Есептің мағынасы осы объектілердің жиынтығының құрылымын анықтау. Мұндай есептерге кластерлеуді жатқызуға болады. Мысалы, ауқымды мәтіндер жиынтығын автоматты түрде құрылымдап, мәтіндерді тақырыптарға бөлу қажет. Сонымен қатар кластерлеу сайттардағы тұтынушыларды топтарға бөлуге қолданылады (Michie et al, 1994).

Кесте 1. Машинамен оқыту арқылы басқарылатын танымал алгоритмдердің базалық сипаттамалары мен визуализациялары (Kreikenbohm, 2018, 73–746.)

Атауы	Сипаттамалары
<p>Жасанды нейронды желі (ЖНЖ) Artificial Neural Networks (ANN)</p>  <p>The diagram illustrates a feedforward neural network. On the left, there is a vertical column of five black rectangular boxes labeled 'input nodes'. These are connected to a central column of five grey circular nodes labeled 'hidden nodes ["neurons"]'. Each input node is connected to every hidden node. The hidden nodes are then connected to a vertical column of three grey rectangular boxes on the right labeled 'output nodes'.</p>	<p>Бір-бірімен байланысқан бірнеше өлшенген байланыстары бар түйіндерден (жасырын түйіндер) тұрады. Мақсатты нәтижеге объектінің қасиеттерін әрбір түйінді сипаттайды және белгілі бір белсендіру функциясы бар.</p>

<p>Ағаштар шешімдері Decision Trees (DT)</p> 	<p>Ата-аналық популяциядан барлық объектілердің түпкі түйіндерінен бастап, популяцияны бөлетін әрбір түйін ішкі түйіндерге бөлінеді (мысалы, параметрлердің шектік мәндері бойынша). Үдеріс қайталау түрде қайталанады, нәтижесінде ағаш (туынды үдеріс) түйіндері жапырақ түйіндерінің соңғы қабатына дейін, анықталған қолданушы критерийлерімен байланысты жасалады (мысалы, түйіндегі объектілердің популяциялануының минималды немесе түйіндердің максималды саны).</p>
<p>Тіректі векторлық машина Support Vector Machine (SVM)</p> 	<p>Алгоритм шешімді қабылдауда шекара құрады, яғни параметрлердің кеңістіктегі көп өлшемді қабаты, тіректі вектор термині арқылы анықталады. Оның мақсаты гипержазықтықта іздеу, ол екі класстағы мәліметтерді ең жақсы жолмен бөледі. Кіретін мәліметтер векторлар жиыны тәрізді қарастырылады, ал мәліметтердің нүктелері жіктеу шекарасына анағұрлым жақын, тіректі векторлар болып табылады.</p>
<p>k-ең жақын көрші k-nearest neighbor (KNN)</p> 	<p>Әрбір объектінің орны кіретін кеңістіктегі төлсипаттары жадта сақталады. Сондан кейін, әрбір сынақты объектінің сол төлсипаттары барлық оқылатын жиынтықпен салыстырылады және кеңістіктегі төлсипаттардың қашықтығы бойынша өлшенетін, k-ең жақын көрші қасиеттерін қолдану арқылы шығысы анықталады.</p>

Машинамен оқытудың астрономия және астрофизикада қолданылатын негізгі бағыттарына шолудың нәтижелері

Машинамен оқытуды астрономия және астрофизикада келесі міндеттерде қолданылады:

Кейде зерттеушілерге сурет бойынша (астрономиялық CCD-кадр) белгілі бір аспанның бөлігінен — галактика, жұлдыз, пульсар немесе квазар екендігін анықтау қиын. Бұл объектілер кадрларда бірдей болып көрінуі мүмкін. Ал, олардың спектрлерін зерттеу арқылы жіктеу жасап, оның химиялық құрамын анықтай отырып, қай объектіге жататындығын нақты айта аламыз. Сонымен, машинамен оқыту технологияларын қолдана отырып, жинақталған үлкен мәліметтерді талдау арқылы бір топ объектілерге жіктеу (классификация) жасай аламыз.

Қызыл ығысуды зерттеу. Квазар, галактика немесе жұлдыз айтарлықтай алыс орналасқан болса, оның алыстау жылдамдығының мәні үлкен болады, сәйкесінше қызыл ығысудың көрсеткіш шамасы үлкен болады. Объектілердің спектрлері арқылы қызыл ығысуды анықтай аламыз. Спектрді алу мүмкін болмаған жағдайда, объектілердің әртүрлі фильтрдеге суреттерін (астрономиялық CCD-кадр) алып, машинамен оқытудың әдістерін қолданып, талдау арқылы анықтай аламыз. Мещеряков және т.б (Мещеряков, 2018) галактикадан тыс объектілердің фотометрлік қызыл ығысуының ықтимал болжамын алуға екі әдіс қолданған, кездейсоқ орман (random forest) алгоритмдер ансамблі және градиенттік бустинг (күшейту), олар өз алдына заманауи машинамен оқытудың ансамблді алгоритмдер квантильді регрессия тәсілін қолдануға жүгінген.

Галактикаларды жіктеу. Галактикалар ең жарық ғарыштық объектілер, қазіргі кезде “Sloan Digital Sky Survey”, “Hubble” тәрізді құралдардың арқасында мыңдаған галактикалардың суреттері ғалымдарға қол жетімді, оларды қолданып талдаулар және зерттеулер жүргізе аламыз. Галактикалардың морфологиялық сипаттамалары (Willett et al, 2013), олардың жасалу үдерісі және ядроларының белсенділігі және жұлдыздардың қозғалысының ішкі динамикалары туралы ақпараттарды құрайды. Бұл жұмыста (Титовский, 2022), астрономияда қолданылатын визуалды көрсеткіштері бойынша галактикаларды топтарға бөлу арқылы морфологиялық жіктеу жүргізілген. Жұмыста үйіріктілі нейронды желі қолданылған (CNN) (Geron, 2019). Үйіріктілі нейронды желі (CNN) машинамен оқытуда, атап айтқанда объектілерді табу, жіктеу, мәліметтерді сегменттеу және т.б. қолданылады.

Асқын жаңа жұлдыздарды зерттеу. 2013 жылы “The Dark Energy Survey” атты 5 жылдық зерттеу бағдарламасы басталды. Бағдарламаның мақсаты Оңтүстік жарты шарды инфрақызыл және оптикалық камералар көмегімен бақылап, мәліметтер алу. Басты мақсат Әлемнің динамикасын, Ia типтегі асқын жаңа жұлдыздар әдісін қолдана отырып құрылымын ғылыми тұрғыда зерттеу (Venkitesh, 2022). Бағдарлама аясында ғалымдар күн сайын көптеген суреттерді (астрономиялық CCD-кадр) алады және олар өндеуді талап етеді. Зерттеушілер осыған орай, “autoScan” алгоритмін жазды, бұл алгоритм суреттегі шынайы объектіден жасанды затты айыра алады.

Экзопланеталардың атмосфераларының құрамын анықтау. 2016 жылы (Waldmann, 2016) мақалада жасанды нейронды желі RobERt туралы жазылды. RobERt (Robotic Exoplanet Recognition) - бұл экзопланеталардың спектрлерін жіктеуге арналған нейронды желінің базасында жазылған модель, дәлдігі 99,7 % құрайды. Оның көмегімен экзопланеталардың спектрлері арқылы олардың атмосфераларының сипаттамаларын анықтауға болады.

Нәтижелердің жаңғыртылуы. Егерде тәжірибеде тек бір бақылау болса, онда ғылыми тұрғыдан алғанда бұл тәжірибенің нәтижесін сенімді деп санау күмәнді. Астрономия немесе астрофизикадағы әрбір бақылау кейбір метамәліметтермен бірге жүреді, мысалы, зерттеу параметрлері,

бақылау уақыты, орналасқан жері, ауа райы, ай фазасы, бақылау құралдары, өңдеу құралдары және т.б. Бүгінгі таңда басқа құралдың көмегімен қайта шығаруға болмайтын нәтижелер алынады және өңделеді. Осылайша, барлық метамәліметтерді ескере отырып, барлық бақылауларды өңдеуге арналған машинамен оқыту және мәліметтерді талдау моделін құру өте өзекті болып табылады, ол осы жағдайлардың барлығын есепке ала алады және қателік ықтималдығын азайтады.

Қорытынды

Астрономия және астрофизика салаларында машинамен оқыту арқылы қызыл ығысуды анықтап, Әлемдегі астрономиялық объектілердің таралу картасын құра аламыз. Сонымен қатар, астрофизикадағы өзекті тақырып, экзопланеталық жүйелердің атмосфераларының құрамын анықтауға мүмкіндік береді. Машинамен оқыту галактикадан тыс астрономиялық объектілерді зерттеуде кеңінен қолданылуда. Қазіргі кезде астрофизика және қарапайым бөлшектер физикасы салаларында машинамен оқыту бойынша танымал Kaggle (<https://www.kaggle.com/duncandean/flavours-of-physics-baseline>) платформасында жинақталған мәліметтер ғылыми жаңалық ашудың құралы ретінде және ЖОО студенттерге білім беруге қолдануға болады (<https://www.kaggle.com/vinesmsuic/star-categorization-giants-and-dwarfs>, Кирюхина, 2018). Сондай-ақ, интеллектуалды жүйелердің дамуы көптеген үдерістерді автоматтандыруға мүмкіндік беретіндігіне, ол астрономия мен астрофизикадағы ғылыми зерттеулердің алға басуын жеделдететінін атап өткен жөн.

ӘДЕБИЕТТЕР

- “Dark Energy Spectroscopic Instrument”. <http://desi.lbl.gov> сұрау салынған күні 06.12.2022.
- “Euclid” <http://sci.esa.int/euclid/> сұрау салынған күні 06.12.2022.
- Flavours-of-physics [Electronic resource]. – URL: <https://www.kaggle.com/duncandean/flavours-of-physics-baseline> сұрау салынған күні 12.12.2022.
- Geron A., 2019 — *Geron A.* Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow: Concepts, Tools, and Techniques to Build Intelligent Systems. — O’Reilly Media.
- Kreikenbohm A., 2018. — *Kreikenbohm A.* Classifying the High-Energy Sky with Spectral Timing Methods // PhD Thesis, University Wuerzburg: – P. 269. DOI: 10.25972/OPUS-19205.
- “LSST Information for Scientists” <https://www.lsst.org/scientists> сұрау салынған күні 06.12.2022.
- Michie D., Spiegelhalter D.J., Taylor C.C., 1994 — *Michie D., Spiegelhalter D.J., Taylor C.C.* Machine Learning, Neural and Statistical Classification/ D. Michie, D.J. Spiegelhalter, C.C. Taylor. – C. 265.
- “Pan-STARRS” <http://pan-starrs.ifa.hawaii.edu/public/> сұрау салынған күні 06.12.2022.
- Stetson P.B., 1996 — *Stetson P.B.* On the Automatic Determination of Light-Curve Parameters for Cepheid Variables // Publications of the Astronomical Society of the Pacific. – Vol. 108. –P. 851. DOI: 10.1086/133808.
- Star Dataset: Stellar Classification [Beginner] Identify Giants and Dwarfs through Machine Learning [Electronic resource]. — URL: <https://www.kaggle.com/vinesmsuic/star-categorization-giants-and-dwarfs> / сұрау салынған күні 12.12.2022.
- Venkitesh A., Robert K.Jr., et.al., 2022 — *Venkitesh A., Robert K.Jr., et.al.* Identifying Transient Candidates in the Dark Energy Survey Using Convolutional Neural Networks // Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 134:094501. –P.14. DOI. 10.1088/1538-3873/ac8375.

Willett K.W., Lintott C.J., Bamford S.P et al., 2013 — *Willett K.W., Lintott C.J., Bamford S.P et al.* Galaxy Zoo 2: detailed morphological classifications for 304,122 galaxies from the Sloan Digital Sky Survey // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* – Pp. 1–9. <https://doi.org/10.1093/mnras/stt1458>.

Waldmann I.P., 2016 — *Waldmann I.P.* Dreaming of Atmospheres. *The Astrophysical Journal.* – Vol. 820. – Is. 2. – P. 8. DOI: 10.3847/0004-637X/820/2/107.

Кирюхина Н.В., Новикова Д.В., 2021 — *Кирюхина Н.В., Новикова Д.В.* Machine Learning Methods in Astrophysics and Particle Physics // *Научные труды Калужского государственного университета имени К.Э.Циолковского.* – 2021. – С.175–183.

Кирюхина Н.В., Ермаков А.К., Кирюхин П.К., 2018 — *Кирюхина Н.В., Ермаков А.К., Кирюхин П.К.* Модельный эксперимент в лабораторно-вычислительном практикуме для бакалавров педагогического образования с профилями «Математика» и «Физика» // *Вестник Калужского университета.* – 2018. – № 4. – С. 96–100.

Мещераков А.В., Глазкова В.В. и др., 2018 — *Мещераков А.В., Глазкова В.В. и др.* Измерение вероятностных фотометрических красных смещений рентгеновских квазаров на основе квантильной регрессии ансамблей деревьев решений. // *Письма в Астрономический Журнал.* – 2018. – Т. 44. № 12. – Рр. 801–820.

Сажин М.В., Семенцов В.Н. и др., 2022 — *Сажин М.В., Семенцов В.Н. и др.* Повышение качества каталогов кратных звезд с использованием искусственного интеллекта // *Журнал информационное общество.* – 2022. № 5. –Рр.106–115. https://doi.org/10.52605/16059921_2022_05_106.

“Спектр-Рентген-Гамма” <http://srg.iki.rssi.ru> сұрау салынған күні 06.12.2022.

Титовский Д.В., 2022 — *Титовский Д.В.* Автоматизация классификации галактик по их морфологическим типам // *МЦНП «Новая наука».* – С.136–143.

REFERENCES

“Dark Energy Spectroscopic Instrument” <http://desi.lbl.gov> сұрау салынған күні 06.12.2022.

“Euclid” <http://sci.esa.int/euclid> сұрау салынған күні 06.12.2022.

Flavours-of-physics [Electronic resource]. — URL: <https://www.kaggle.com/duncandean/flavours-of-physics-baseline> сұрау салынған күні 12.12.2022.

Geron A., 2019 — *Geron A.* Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow: Concepts, Tools, and Techniques to Build Intelligent Systems. — O’Reilly Media,

Kreikenbohm A., 2018. — *Kreikenbohm A.* Classifying the High-Energy Sky with Spectral Timing Methods // *PhD Thesis, University Wuerzburg:* – P. 269. DOI: 10.25972/OPUS-19205.

“LSST Information for Scientists” <https://www.lsst.org/scientists> сұрау салынған күні 06.12.2022.

Michie D., Spiegelhalter D.J., Taylor C.C., 1994 — *Michie D., Spiegelhalter D.J., Taylor C.C.* Machine Learning, Neural and Statistical Classification/ D. Michie, D.J. Spiegelhalter, C.C. Taylor. – C. 265.

“Pan-STARRS” <http://pan-starrs.ifa.hawaii.edu/public/> сұрау салынған күні 06.12.2022.

Stetson P.B., 1996 — *Stetson P.B.* On the Automatic Determination of Light-Curve Parameters for Cepheid Variables // *Publications of the Astronomical Society of the Pacific,* – Vol.108. –P. 851. DOI: 10.1086/133808.

Star Dataset: Stellar Classification [Beginner] Identify Giants and Dwarfs through Machine Learning [Electronic resource]. — URL: <https://www.kaggle.com/vinesmsuic/star-categorization-giants-and-dwarfs> / сұрау салынған күні 12.12.2022.

Venkitesh A., Robert K.Jr. et.al., 2022 — *Venkitesh A., Robert K.Jr. et.al.* Identifying Transient Candidates in the Dark Energy Survey Using Convolutional Neural Networks // *Publications of the Astronomical Society of the Pacific,* 134:094501. –P. 14. DOI. 10.1088/1538-3873/ac8375.

Willett K.W., Lintott C.J., Bamford S.P et al., 2013 — *Willett K.W., Lintott C.J., Bamford S.P et al.* Galaxy Zoo 2: detailed morphological classifications for 304,122 galaxies from the Sloan Digital Sky Survey // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* – Pp. 1–29. <https://doi.org/10.1093/mnras/stt1458>.

Waldmann I.P., 2016 — *Waldmann I.P.* Dreaming of Atmospheres. *The Astrophysical Journal.* – Vol. 820. – Is. 2. – P. 8. DOI: 10.3847/0004-637X/820/2/107.

Kirjuhina N.V., Novikova D.V., 2021 — *Kirjuhina N.V., Novikova D.V.* Machine Learning Methods in Astrophysics and Particle Physics // Nauchnye trudy Kaluzhskogo gosudarstvennogo universiteta imeni K.Je.Ciolkovskogo. - Pp.175–183.

Kirjuhina N.V., Ermakov A.K., Kirjuhin P.K., 2018 — *Kirjuhina N.V., Ermakov A.K., Kirjuhin P.K.* Model'nyj jeksperiment v laboratorno-vychislitel'nom praktikume dlja bakalavrov pedagogicheskogo obrazovanija s profiljami «Matematika» i «Fizika» //Vestnik Kaluzhskogo universiteta. – № 4. – Pp. 96–100.

Meshherjakov A.V., Glazkova V.V., 2018 — *Meshherjakov A.V., Glazkova V.V.*, Izmerenie verojatnostnyh fotometricheskikh krasnyh smeshhenij rentgenovskih kvazarov na osnove kvantil'noj regressii ansamblej derev'ev reshenij. // Pis'ma v Astronomicheskij Zhurnal. – T. 44. № 12. –Pp. 801–820.

Sazhin M.V., Semencov V.N., 2022 — *Sazhin M.V., Semencov V.N.* Povyshenie kachestva katalogov kratnyh zvezd s ispol'zovaniem iskusstvennogo intellekta // Zhurnal informacionoe obshhestvo. № 5. –Pp. 106–115. https://doi.org/10.52605/16059921_2022_05_106.

“Spektr-Rentgen-Gamma” <http://srg.iki.rssi.ru> sypau salynfan kyni 06.12.2022.

Titovskij D.V., 2022 — *Titovskij D.V.* Avtomatizacija klassifikacii galaktik po ih morfologicheskim tipam //MCNP «Novaja nauka». Pp.136–143.

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY
OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
ISSN 2224-5227

Volume 345, Number 1 (2023), 216–228
<https://doi.org/10.32014/2023.2518-1483.196>

UDC 666.669

© **G.B. Begimbayeva**^{1*}, **R.O. Orynassar**¹, **A.K. Zhumabekova**², 2023

¹Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan;

²Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan.

E-mail: gulya_b92@mail.ru

ON THE IMPACT OF STORAGE TIME ON THE COMPOSITION OF TECHNOLOGICAL LIME FOR FERROALLOY PRODUCTION

Begimbayeva Gulbanu Bekbolatovna — Master's Degree student of Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan

E-mail: gulya_b92@mail.ru;

Orynassar Raigul Orynassarovna — Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemistry and Chemical Technology, K. Zhubanov Aktobe Regional University

E-mail: raihan_06_79@mail.ru. ORCID: 0000-0002-6198-3018;

Zhumabekova Aray Kerimakinovna — Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan

E-mail: zhumabekova_ak@mail.ru. ORCID: 0000-0001-6743-8953.

Abstract. Lime is used as a slag-forming additive in the ferroalloy industry. When melted, limestone products form a slag layer on the metal surface, including when casting liquid metal in a ladle. The result is that the slag effectively reduces heat loss during production, which saves energy resources. There are cases of long downtimes (from 2 to 30 days) at ferroalloy enterprises, and therefore, for a long period of production shutdown, charge and auxiliary materials, including burnt lime, remain in the charge bins. According to the technology in force at the enterprises, charge and auxiliary materials with a moisture content of not more than 1 % are used for metal production. Usually, during long-term storage of bulk materials in bunkers, the humidity changes slightly. In this work, the influence of the environment and storage time on the content of CaO in lime for five days, as well as the dependence of the total moisture content of burnt lime on the duration of its storage in air, was investigated. It has been established that the content of CaO in lime changes (decreases) under the influence of storage time, as evidenced by laboratory data: in five days, the content of CaO fell by about 8 %. And the humidity in the burnt lime increases from 1 % when using freshly burnt lime with a shelf life of not more than two days after unloading from the kiln to 5.5 % – after the expiration of a shelf life of 15 days.

Key words: lime, flux, slag, ferroalloy production, shelf life, environment, CaO content, humidity, hydrated moisture

© Г.Б. Бегимбаева^{1*}, Р.О. Орынбасар¹, А.К. Жумабекова², 2023

¹Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті (АӨУ),
Ақтөбе, Қазақстан;

²Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан.
E-mail: gulya_b92@mail.ru

ФЕРРОКОРЫТПА ӨНДІРІСІНДЕГІ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ӘКТИҢ ҚҰРАМЫНА САҚТАУ УАҚЫТЫНЫҢ ӘСЕРІ

Бегимбаева Гүльбану Бекболатовна — магистрант. Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті (АӨУ), Ақтөбе, Қазақстан
E-mail: gulya_b92@mail.ru;

Орынбасар Райгүл Орынбасарқызы — химия ғылымдарының кандидаты, Ақтөбе өңірлік университетінің «Химия және химиялық технология» кафедрасының доценті. Қ. Жұбанова
E-mail: raihan_06_79@mail.ru. ORCID: 0000-0002-6198-3018;

Жумабекова Арай Керимақынқызы — химия ғылымдарының кандидаты, Қазақ технология және бизнес университетінің доценті, Астана, Қазақстан
E-mail: zhumabekova_ak@mail.ru. ORCID: 0000-0001-6743-8953.

Аннотация. Әк ферроқорытпа өнеркәсібінде шлак түзетін қоспа ретінде қолданылады. Әктас бұйымдары балқыған кезде металл бетінде шлак қабатын құрайды, оның ішінде сұйық металды шөмішке құйғанда. Нәтижесінде қож өндіріс кезінде жылу шығынын тиімді төмендетеді, бұл энергия ресурстарын үнемдейді. Ферроқорытпа кәсіпорындарында ұзақ уақыт (2 күннен 30 күнге дейін) тоқтап тұру жағдайлары бар, сондықтан өндіріс ұзақ уақыт тоқтаған кезде шихта және қосалқы материалдар, оның ішінде күйдірілген әк шихта бункерлерінде қалады. Кәсіпорындарда қолданылып жүрген технология бойынша металл өндірісі үшін ылғалдылығы 1 %-дан аспайтын шихта және көмекші материалдар қолданылады. Әдетте, сусымалы материалдарды бункерлерде ұзақ сақтау кезінде ылғалдылық аздап өзгереді. Бұл жұмыста бес күн бойы әктегі СаО мөлшеріне қоршаған ортаның және сақтау уақытының әсері, сонымен қатар күйдірілген әктің жалпы ылғалдылығының оның ауада сақтау ұзақтығына тәуелділігі зерттелді. Сақтау уақытының әсерінен әктегі СаО мөлшері өзгереді (төмендейтіні) анықталды, бұл зертханалық мәліметтермен дәлелденді: бес күн ішінде СаО мөлшері шамамен 8 %-ға төмендеді. Ал күйдірілген әктегі ылғалдылық пештен түсіргеннен кейін сақтау мерзімі екі күннен аспайтын жаңа күйдірілген әкті пайдаланған кезде 1 %-дан 5,5 %-ға дейін – 15 күндік жарамдылық мерзімі өткеннен кейін жоғарылайды.

Түйін сөздер: әк, флюс, шлак, ферроқорытпа өндірісі, сақтау мерзімі, қоршаған орта, СаО мөлшері, ылғалдылық, гидратталған ылғал

© Г.Б. Бегимбаева^{1*}, Р.О.Орынбасар¹, А.К. Жумабекова², 2023

¹Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова,
Актобе, Казахстан;

²Казахский университет технологии и бизнеса, Астана, Казахстан.

E-mail: gulya_b92@mail.ru

О ВОЗДЕЙСТВИИ СРОКОВ ХРАНЕНИЯ НА СОСТАВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗВЕСТИ ДЛЯ ФЕРРОСПЛАВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Бегимбаева Гульбану Бекболатовна — магистрант, Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, Актобе, Казахстан

E-mail: gulya_b92@mail.ru;

Орынбасар Райгуль Орынбасаровна — кандидат химических наук, доцент кафедры химии и химической технологии Актюбинского регионального университета им. К. Жубанова

E-mail: raihan_06_79@mail.ru. ORCID: 0000-0002-6198-3018;

Жумабекова Арай Керимакиновна — кандидат химических наук, доцент, Казахский университет технологий и бизнеса, Астана, Казахстан

E-mail: zhumabekova_ak@mail.ru. ORCID: 0000-0001-6743-8953.

Аннотация. В качестве шлакообразующей присадки в ферросплавной промышленности используют известь. При плавлении известняковые продукты образуют слой шлака на поверхности металла, в том числе при литье жидкого металла в ковше. Результатом является то, что шлак эффективно уменьшает потери тепла при производстве, что позволяет экономить энергетические ресурсы. На ферросплавных предприятиях отмечаются случаи длительных простоев (от 2 до 30 суток) и в связи с этим, на протяжении длительного периода остановки производства в бункерах шихтоподачи остаются шихтовые и вспомогательные материалы, в том числе обожженная известь. По действующей на предприятиях технологии, для производства металла используются шихтовые и вспомогательные материалы с содержанием влаги не более 1 %. Обычно в процессе длительного хранения сыпучих материалов в бункерах влажность изменяется незначительно. В данной работе исследовалось воздействие окружающей среды и сроков хранения на содержание СаО в извести в течение пяти дней, а также зависимость общей влажности обожженной извести от длительности ее хранения на воздухе. Установлено, что содержание СаО в извести изменяется (уменьшается) под влиянием времени хранения, о чем свидетельствовали лабораторные данные: за пять дней содержание СаО упало примерно на 8 %. А влажность в обожженной извести возрастает с 1 % при использовании свежееобожженной извести со сроком хранения не более двух суток после выгрузки из обжиговой печи до 5,5 % – после истечения срока хранения 15 суток.

Ключевые слова: известь, флюс, шлак, ферросплавное производство, сроки хранения, окружающая среда, содержание СаО, влажность, гидратная влага

Введение

Иногда ферросплавные заводы используют руды, требующие дополнительного обогащения, такие как бедные марганцевые и реже хромовые руды, которые подвергают пирометаллургическому обогащению с получением богатых по содержанию ведущего элемента легкоплавких жидких шлаков, которые затем перерабатывают в конечную продукцию.

При поставках продукции за рубеж казахстанские металлургические предприятия заинтересованы в соответствии системы международных (ISO) и европейских стандартов (EN) (Белоглазов и др., 2008: 10). Характеристики материала (химический состав), свойства сырьевого материала (дисперсный состав) и вспомогательных веществ (химический состав) также строго регламентируются. Обычно в металлургической промышленности используют известь негашеную, в качестве важного компонента для очистки металла от фосфорных, серых или кремниевых примесей. Они образуются после введения кислорода к расплавленному чугуно или стали. Введение в процесс производства происходит в три этапа: во первых для производства окатышей (полуфабрикаты железа, которые и загружаются в плавильную печь), во вторых, очищают материал от серы перед плавкой, и в-третьих: после того, как к плавленому материалу примешивается кислород, известь в твердом или измельченном состоянии добавляют в печи, чтобы образовались жесткие шлаки, которые легко можно удалить на данном этапе. Подобное использование делает сталь сверхчистой: именно в таком виде она больше всего ценится на рынке (Санджив, 2018: 686).

В технологии производства металла, который имеет низкий уровень серы, для эффективного удаления серы из ферросплава необходимо в больших количествах присаживать твердую шлаковую смесь (Шрама и др., 2017: 333). Сера является наиболее нежелательной примесью в стали, и ее удаление может быть экономически нецелесообразным без использования высококальциевой извести либо при десульфурации чугуна, либо при вторичной металлургической обработке (Хассал и др., 1988).

На сегодняшний день для более глубокой десульфуризации металла используют введение извести, которая является одним из самых эффективных способов. Десульфуризация улучшается с увеличением концентрации оксида кальция до достижения предела насыщения (масс. % 55–60), а далее скорость десульфурации ограничивается. Известь с высоким содержанием CaO улучшает сульфидную емкость и конечный уровень содержания серы в стали. Обогащение шлака загрязненной известью, крайне нежелательно, так как это может повлиять на поглотительную способность шлака (Хейя и др., 1973: 249)

При производстве низкоуглеродистого феррохрома широко применяют загрузку в печь горячих руды и извести, в том числе и после совместного обжига их в трубчатых вращающихся печах. В ферросплавном производстве известь используется в качестве шлакообразующей присадки (производство феррохрома — до 1500 кг/т, ферромарганца — 250 кг/т.). По данным

статистики, в начале 90-х годов черная металлургия произвела около 11 миллионов тонн извести: это около 38 % от ее валового производства. Всего в ферросплавном производстве стран СНГ используется около 700 тыс. т извести ежегодно (Монастырев, 1978: 35).

Совокупность характеристик и производительности агломерата зависит от качества гранулометрического состава, количества извести в процессе обработки. Геометрия важна для создания однородного смешения, которое влияет на проницаемость шихты и в конечном итоге зависит от условий горения и теплопередачи во время спекания. При использовании негашёной извести улучшается теплопередача в спекаемом слое. Дозирование извести во время агломерации потенциально может увеличить производительность агломерата примерно на 20 %, снизив себестоимость тонны и уменьшив возврат агломерата (Ди Джорджио и др., 2011; Ван Лоо и др., 2014).

Качество извести, используемой предприятиями черной металлургии, в том числе и ферросплавной промышленностью, регламентируется стандартом ГОСТ 9179, ОСТ 14-16-165-85 и СТ АО 040541002353-10-2021. Прочность стали зависит от разных условий в шлаковом отходе, которые могут быть изменены добавлением соответствующей извести. Именно поэтому стоит уделить особенное внимание химическим, физическим и механическим свойствам извести (Сарна, 2015). Известь для выплавки ферросплавов по химическому составу должна удовлетворять требованиям, приведенным в Таблице 1.

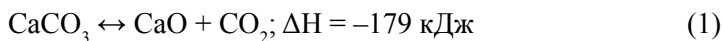
Таблица 1. Химический состав извести для ферросплавного производства (ОСТ 14-16-165-85)

Марка	Сорт	CaO _{общ} , %, не менее
ИФ-0	1	97
ИФ-1	1	93
	2	90
ИФ-2	1	90
	2	85

Целью данной работы являлось исследование влияния окружающей среды и сроков хранения на содержание CaO в извести. Общеизвестно, что негашеная известь представляет собой вещество белого цвета, которое имеет кристаллическую структуру. Известь должна содержать > 90 % CaO. Основным процессом при производстве извести является обжиг, при котором известняк декарбонизируется и превращается в известь.

В заводских условиях температура обжига известняка зависит от плотности известняка, наличия примесей, типа печи и ряда других факторов и составляет обычно 1100–1200°C.

Реакция обжига обратима и описывается уравнением:



Доля примесей различного типа — доломитов, известняка, а также иных ископаемых магнезио-кальциевого типа не может превышать 6–8 %. Она делается в соответствии с ГОСТ 9179-77 «Известь строительная. Технические условия». По требованиям ГОСТ, известь необходимо измельчать таким образом, чтобы остаток после прохода через сито под номерами 02 и 008 был не более 1,5 и 15 % соответственно (ОСТ 14-16-165-85).

При оценке качества воздушной извести следует учитывать несколько показателей. В первую очередь, это содержание свободных оксидов кальция и магния в ней. Чем выше их содержание, тем выше будет качество извести. Оксид кальция, имеющий щелочной характер, нейтрализует кремнезем и связывает серу, которые содержатся в пустой породе. Содержание CaO в извести напрямую влияет на ее активные свойства.

Термин «свежеобожженная известь» используется условно, поскольку от момента выгрузки извести в печь до непосредственного использования для наведения шлака необходимо отобрать пробы и выполнить химический анализ каждой партии извести, загрузить её в шихтовый пролет отделения сульфатов и наполнителей ЭСПЦ (электросталеплавильный цех), подробить до фракции 5–50 мм, отгрузить в бункер системы шихтоподачи. Все перечисленные процедуры занимают от 1 до 2 суток. Хранение негашеной извести осуществляется в сухом закрытом неотапливаемом помещении в течение 15 суток. Более длительное хранение приводит к карбонизации, что снижает ее активные свойства. Поэтому хранят обычно не более 15-тидневного запаса, необходимого для работы. В производственных условиях лучше всего для хранения подходят резервуары, оснащенные системами подачи (Монастырев, 1979).

Чтобы сохранить известь, которую хранят в бункерах шихтоподачи необходимо учитывать, что свежеобожженная известь взаимодействует с водой, содержащейся в воздушной атмосфере цеха:



Оксид кальция легко гидратируется с выделением большого количества тепла. Из-за длительных (от 2 до 30 суток) простоев производства в ЭСПЦ, необходимо учитывать, что свежеобожженная известь при длительном хранении в бункерах насыщается водой до содержания значительно превышающего рекомендованное значение не более 1 % по массе. Поэтому известь не может храниться длительное время, так как при этом активность ее значительно снижается за счет взаимодействия с влагой воздуха. Увеличение срока хранения извести приводит к ее карбонизации, что затрудняет размельчение извести в процессе дальнейшей обработки. Также с целью уменьшения негативного влияния повышенного (более 6 ppm) содержания

водорода в невакумированной стали на качество (пористая структура, подкорковые пузыри, водородное охрупчивание, трещины металла) и с целью снижения вероятности образования прорывов жидкого металла и подвисяния заготовки в кристаллизаторе, создание покровного шлака для внепечной обработки в сталеразливочном ковше, необходимо использовать лишь свежую обжиговую известь с сроком хранения не более двух суток после выгрузки из печи.

В работе использовались теоретические и экспериментальные методы исследований. Для анализа химического состава извести применялись химические методы изучения свойств: титриметрия. При постановке и проведения лабораторных и опытно-промышленных испытаниях реализованы методы планирования эксперимента, статистического наблюдения. Для того чтобы провести анализ, были использованы заводские методы технологического контроля (ГОСТ 22688-77).

Материалы и методы

В испытательной химической лаборатории, в экспериментальных целях проведено исследование лабораторной пробы извести от 23.02.2022 года. Для проведения химического анализа пробу извести, отобрали по ГОСТ 9179, последовательным квартованием подготовили пробу массой 40 г, растерта до полного прохождения через сетку № 008 по ГОСТ 6613. Измерение массовой доли оксида кальция в извести проведено по п.10.4 МВИ 28Х:

Свежеподготовленную аналитическую пробу извести от 23.02.2022 года проанализировали с периодичностью 2 часа.

2) Эту самую же пробу повторно анализировали в течение пяти дней.

Для контроля точности был взят стандартный образец известняка ГСО 153-93П (Ш10В) с известным содержанием оксида кальция. (Учитывая неустойчивость материала в перечне предлагаемых стандартных образцов отсутствует образец извести).

Определение массового содержания СаО в извести. Измерение массовой доли оксида кальция проводили титриметрическим методом. Титриметрический метод основан на образовании устойчивых, хорошо растворимых комплексных соединений с трилоном Б, где кальций определяли титрованием трилоном Б в присутствии индикатора тимолфталейна с флуорексоном (сухая смесь). Навеску массой 0,1 г поместили в коническую колбу вместимостью 300–500 см³, добавили 20 см³ соляной кислоты концентрацией 1:1. Содержимое колбы поставили на плиту и провели растворение на слабом огне, не доводя до кипения. По окончании растворения и прекращении выделения пузырьков углекислого газа капли раствора смыли с боковых стенок колбы, снова нагрели раствор, затем дали колбе остыть, раствор разбавили водой до 200 см³ и охладили. Титровали раствором Трилона Б с молярной концентрацией эквивалента 0,043 моль/дм³, добавили 35–40 мл гидроксида калия с массовой концентрацией 300 г/дм³, 0,1–0,15 г индикатора флуорексона до появления окраски изменение цвета раствора с

зеленовато-голубого на фиолетовый (исчезновение зеленой флуоресценции). Параллельно с пробой провели стандартный образец известняка Ш10В, с известным содержанием оксида кальция. Массовую долю оксида кальция, CaO (%) рассчитывали по формуле:

$$\text{CaO} = T \cdot V \quad (2)$$

где, T – титр раствора Трилона Б;

V – объем раствора Трилона Б, израсходованный на титрование, см³.

Титр раствора трилона Б рассчитывали по формуле:

$$T = \frac{A}{V} \quad (3)$$

где, A – содержание оксида кальция в стандартном образце, %;

V – объем раствора Трилона Б, израсходованный на титрование, см³.

При оценке степени насыщенности извести влажностью в процессе хранения мы отбирали пробы извести (после дробления до фракции 5–50 мм), поступившей из обжиговой печи АО «АЗФ ТНК Казхром».

Определение влажности. Массу навески 10 г поместили в предварительно высушенный и взвешенный бюкс с крышкой и высушили в разогретом до постоянной массы и равномерном режиме сушильного шкафа при температуре 105–110 °С. Бюкс с натронной известью необходим для улавливания CO₂ воздуха в сушильном шкафу. Во время сушки крышку бюкса открыли. Приблизительно через 2 часа бюкс плотно закрыли крышкой извлекли из сушильного шкафа, охладили в эксикаторе и взвесили. Сушка продолжается до постоянной массы. Время высыхания 30 минут.

Влажность извести W в процентах вычислили по формуле:

$$W = \frac{(G - G_1)}{G} \cdot 100 \quad (4)$$

где G – масса навески извести, г;

G₁ – масса навески извести после высушивания, г.

Определение содержания гидратной воды в извести. После прокаливания и взвешивания платинового или фарфорового тигля отвесили около 1 г извести, поместили на 2 ч в муфельную печь, нагретую до температуры 520 ± 10 °С. Тигель с навеской охладили в герметически закрытом эксикаторе в присутствии влагопоглощающего вещества, а затем взвесили. Проба гидратной извести предварительно высушивается при температуре 105–110 °С.

Содержание гидратной воды W в процентах вычислили по формуле:

$$W = \frac{m_1}{m} \cdot 100 \quad (4)$$

где m_1 – разность в массе тигля с навеской до и после прокаливания, г;
 m – масса навески извести, г.

Результаты и обсуждения.

Результат проведения испытаний по определению CaO в извести представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Содержание CaO (%) в технологической извести АО «АЗФ ТНК Казхром»

Период	Аналитическая проба от 23.02.2022 г. (растертая до прохождения через сетку N 008), % CaO
23.02.2022 г., время: 10 ⁰⁰	94,77
23.02.2022 г., время: 12 ⁰⁰	93,45
23.02.2022 г., время: 14 ⁰⁰	92,36
24.02.2022 г.	91,20
25.02.2022 г.	89,34
26.02.2022 г.	87,46
27.02.2022 г.	87,35
28.02.2022 г.	87,00

Таблица 3 содержит результаты испытаний проб на содержание влаги и гидратной воды.

Таблица 3. Результаты анализа пробы технологической извести

Период	Аналитическая проба от 23.02.2022 г. (растертая до прохождения через сетку N 008)	
	Влажность, %	Гидратная вода, %
23.02.2022 г.	0,15	0,08
25.02.2022 г.	0,44	0,26
28.02.2022 г.	0,89	0,65
1.03.2022 г.	1,05	1,04
4.03.2022 г.	1,89	1,40
6.03.2022 г.	2,04	1,86
8.03.2022 г.	2,45	3,10

Рисунок 1 показывает зависимость изменения общей влажности извести от длительности хранения в ЭСПЦ по данным Таблицы 3. Из рисунка 1 можно увидеть увеличение общего содержания влаги в изделии с 1 % (при использовании свежесожженной извести со сроком хранения не более двух дней) до 5,55 % после истечения срока хранения 15 суток.

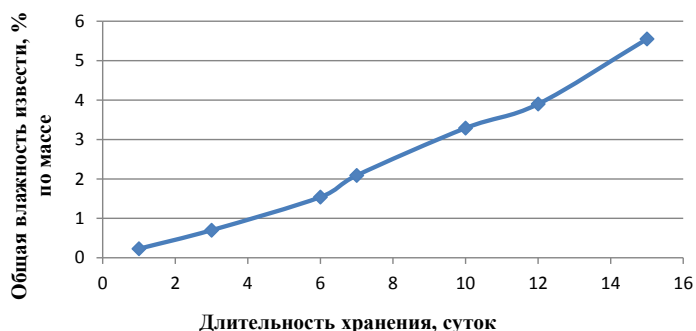


Рис. 1. Зависимость общей влажности обожженной извести от длительности ее хранения на воздухе

(Fig. 1. The dependence of the total moisture content of burnt lime on the duration of its storage in air)

Данные исследования работы по насыщению извести влагой показали, что при хранении без контакта с атмосферным воздухом известь незначительно насыщается влагой (0,1 % в неделю). После длительного хранения и транспортировки извести содержание в ней влаги увеличивается до 1,00 – 5,55 %. Таким образом, вся влага, содержащаяся в извести, переходит в металл. Такие концентрации приводят к увеличению содержания водорода. Чтобы снизить влияние данного фактора, необходимо разместить производство извести в непосредственной близости от металлургического предприятия. Потому что согласно исследованиям авторов работы (Николаев и др., 2014: 18) известь иногда может быть источником водорода, особенно если она хранится в контакте с атмосферой. Было проанализировано влияние извести на содержание водорода в стали класса К60 в 146 плавках, выплавленных во второй половине 2013 года.

На основании проведенного анализа (Николаев и др., 2014: 18) было установлено, что увеличение расхода извести на 200 кг плавки ведет к повышению содержания водорода примерно на 0,5 ppm. Для изучения влияния времени и условий хранения извести на насыщение металла водородом было исследовано влияние длительности и условий ее хранения на насыщение извести влагой. Первый анализ проведен спустя 14 дней после отбора пробы. Чтобы определить влияние условий хранения извести на насыщение ее водородом, часть извести оставили в герметичной упаковке и часть хранили открытым способом на воздухе. Согласно исследованию (Николаев и др., 2014: 18), при хранении извести в герметичной упаковке увеличение насыщения ее водой практически не происходит. Насыщение извести при транспортировке 0,5–1 % влаги может привести к значительному увеличению содержания водорода в металле.

Также исходя из данных ряда металлургических предприятий Украины

(Смирнов и др., 2009: 15) было установлено, что при некоторых концентрациях водорода в жидкой стали для условий непрерывной разливки происходит развитие процесса выделения пузырьков водорода в жидкий шлак между поверхностью заготовки и внутренней поверхностью кристаллизатора. По мнению автора, это выделение водорода предотвращает попадание шлака в зазор и существенно уменьшает интенсивность теплоотводов от заготовки в кристаллизатор. Таким образом уменьшается скорость развития твердой коры, что может привести к ее прорывам под кристаллизатором. При необходимости непрерывной разливки металла с высокими скоростями, авторы оценили «пороговое» значение концентрации водорода в жидкой стали 7 ppm, при достижении которого увеличивается вероятность прорывов металла в процессе непрерывной разливки.

В соответствии с результатами проведенных ранее исследований в работе (Кодак и др., 2011), и в частности из-за рекомендуемой «пороговой» концентрации водорода, для получения жидкой стали содержания водорода не более 6 ppm, наведение покровного шлака во внепечной обработке необходимо осуществлять только свежееобожженной известью. Если плавки будут произведены непосредственно после простоя производства длительностью 20 суток, в течение которых в бункерах системы шихтоподачи хранилась известь, оставшаяся на момент остановки производства, среднее содержание водорода в жидкой стали этих плавов может составлять около 10 ppm. Такое содержание водорода приводит к водородному охрупчиванию металла, что в совокупности с термическими напряжениями способствует образованию в заготовках трещин.

В случае применения для наведения покровного шлака печи-ковша только свежееобработанной извести, срок хранения которой составляет не более двух суток, среднее содержание водорода в жидкой стали составит 5 ± 1 ppm. После использования извести длительного хранения, среднее содержание водорода в жидкой стали составляет 10 ± 4 ppm (Кодак и др., 2011).

Повреждение водородом металлов приводит к специфичным дефектам металла, которые приводят к различным металлургическим дефектам стали: образованию флокенов и охрупчиванию, медленному разрушению при коррозионном и температурно-статическом напряжениях. Кроме того, растворенный в жидком металле водород участвует в образовании пористой структуры и подкорковых пузырей во время затвердевания стали. Уровень водорода в стали оказывает отрицательное влияние на качество готовой продукции и увеличивает риск аварийных ситуаций при непрерывной разливке. В результате этого может произойти взрыв, падение слитка или разрыв металла во время заливки.

Заключение

Таким образом, в данной работе исследовалось воздействие окружающей среды и сроков хранения на содержание СаО в извести в течение пяти дней и зависимость общей влажности обожженной извести от длительности ее

хранения на воздухе в течение 15 суток. Для этого была взята проба извести, отобранная по ГОСТ 9179 и растертая до полного прохождения через сетку N 008 по ГОСТ 6613. В ходе исследования по данным результатов испытаний установлено, что:

Содержание СаО в извести изменяется (уменьшается) под влиянием времени хранения.

Влажность в обожженной извести возрастает с 1 % при использовании свежееобожженной извести со сроком хранения не более двух суток после выгрузки из обжиговой печи до 5,5 % — после истечения срока хранения 15 суток.

ЛИТЕРАТУРА

Белоглазов И.Н., Голубев В.О., Никольский В.Е., Абезгауз Б.С., 2008 — *Белоглазов И.Н., Голубев В.О., Никольский В.Е., Абезгауз Б.С.* Изучение условий производства марочной металлургической извести для черной металлургии. Москва: Металлург. 2008. – 10 с.

Ван Лоо Ф., Дус Ж.Ф., Мартинес Пачеко М., Эввар М., Петрук Р., Шмид Х., 2014 — *Ван Лоо Ф., Дус Ж.Ф., Мартинес Пачеко М., Эввар М., Петрук Р., Шмид Х.* Улучшенная подготовка агломерационной смеси при использовании сложного сырья (IMSIMI), итоговый отчет; Исследовательский фонд угля и стали (Европейская комиссия, евро 27901 EN); Европейская комиссия: Брюссель, Бельгия. 2014.

ГОСТ 22688-77, 1979 — *ГОСТ 22688-77.* Известь строительная. Методы испытаний. 1979.

Ди Джорджио Н., Брейс Д., Беннетт А., Wijekulasuriya K., 2011 — *Ди Джорджио Н., Брейс Д., Беннетт А., Wijekulasuriya K.* Модернизация аглофабрики Bluescope Steel в порту кембла для повышения производительности и снижения выбросов парниковых газов на сталелитейном заводе. Австралия: BlueScope Steel Australia New Zealand Steel Manufacturing Business. Создание лучшего мира. 2011.

Кодак А.В., Кожин Д.С., 2011 — *Кодак А.В., Кожин Д.С.* О влиянии длительности хранения обожженной извести на содержание водорода в стали. Украинская ассоциация сталеплавильщиков. 2011.

Монастырев А.В., 1978 — *Монастырев А.В.* Производство извести. Москва: Металлургия. 1978. – 35 с.

Монастырев А.В., Александров А.В., 1979 — *Монастырев А.В., Александров А.В.* Печи для производства извести. Справочник. Москва: Металлургия. 1979.

Николаев А.О., Бигеев В.А., 2014 — *Николаев А.О., Бигеев В.А.* Особенности производства низкосернистой стали с ограниченным содержанием водорода. Сталь. 2014. – 18 с.

ОСТ 14-16-165-85, 1985 — *ОСТ 14-16-165-85.* Известь для сталеплавильного и ферросплавного производств. Общие технические условия. 1985.

Санджив Маноча и Франсуа Поншон, 2018 — *Санджив Маноча и Франсуа Поншон.* Управление известью в стали. Metals. 2018. – 686 с., <https://doi.org/10.3390/met8090686>.

Сарна С.К., 2015 — *Сарна С.К.* Качество извести для производства стали в конвертере. 2015.

Смирнов А.Н., Епишев М.В., Писмарев К.Е., 2009 — *Смирнов А.Н., Епишев М.В., Писмарев К.Е.* Механизм влияния водорода на образование прорыва при непрерывной разливке стали. Сталь. 2009. – 15 с.

Шрама Ф.Н.Х., Беундер Э.М., ван ден Берг Б., Ян Ю., Бум Р., 2017 — *Шрама Ф.Н.Х., Беундер Э.М., ван ден Берг Б., Ян Ю., Бум Р.* Удаление серы при производстве чугуна и кислородном производстве стали. 2017. – 333 с.

Хассал Г.Дж., 1988 — *Хассал Г.Дж.* Удаление фосфора и серы из жидкой стали при вторичном производстве стали; Комиссия Европейского сообщества по исследованию технических сталей. Брюссель, Бельгия: Европейская комиссия. 1988.

Хейя А.А., Ховатанд Д.Д., Jochen P.R., 1973 — *Хейя А.А., Ховатанд Д.Д., Jochen P.R.* Влияние реакционной способности извести на эффективность десульфурации в кислородной печи. *Металл.* 1973. – 249 с.

REFERENCES

Beloglazov I.N., Golubev V.O., Nikolsky V.E., Abezgauz B.S., 2008 — *Beloglazov I.N., Golubev V.O., Nikolsky V.E., Abezgauz B.S.* The study of the conditions for the production of branded metallurgical lime for ferrous metallurgy. – Moscow: Metallurg. 2008. – 10 p.

Di Giorgio N., Brace D., Bennett A., Wijekulasuriya K., 2011 — *Di Giorgio N., Brace D., Bennett A., Wijekulasuriya K.* BlueScope Steel Australia New Zealand Steel Manufacturing Business. Reengineering Bluescope Steel's port kembla sinter plant for high productivity and reduced steelworks greenhouse emissions. – Australia: Engineering a Better World. 2011.

GOST 22688-77, 1979 — *GOST 22688-77.* Lime for building purposes. Test methods. State standard of the USSR. – 1979, <https://docs.cntd.ru/document/901707641>.

Hassal G.J., 1988 — *Hassal G.J.* Phosphorus and Sulphur Removal from Liquid Steel by Secondary Steel Making Operations. – Brussels, Belgium: Commission of the European Communities Technical Steel Research. 1988.

Heiia A.A., Howatand D.D., Jochen P.R., 1973 — *Heiia A.A., Howatand D.D., Jochen P.R.* The effect of the reactivity of lime on desulphurization efficiency in the basic oxygen furnace. – *J.S. Afr. Inst. Min. Metall.* 1973. – 249 p.

Kodak A.V., Kozhin D.S., 2011 — *Kodak A.V., Kozhin D.S.* On the influence of the duration of storage of burnt lime on the hydrogen content in become. – Ukrainian Association of Steelworkers. 2011.

Monastyrev A.V., 1978 — *Monastyrev A.V.* Production of lime. Moscow: Metallurgy. 1978. – 35p.

Monastyrev A.V., Aleksandrov A.V., 1979 — *Monastyrev A.V., Aleksandrov A.V.* Furnaces for lime production. Directory. Moscow: Metallurgy. 1979.

Nikolaev A.O., Bigeev V.A., 2014 — *Nikolaev A.O., Bigeev V.A.* Features of low-sulfur steel production with limited hydrogen content. *Steel.* 2014. – 18 p.

OST 14-16-165-85, 1985 — *OST 14-16-165-85.* Lime for steelmaking and ferroalloy production. General technical conditions. – 1985, <https://docs.cntd.ru/document/1200080976>.

Sanjeev Manocha, François Ponchon., 2018 — *Sanjeev Manocha, François Ponchon.* Management of Lime in Steel. *Metals* 8(9). 2018. – 686 p., <https://doi.org/10.3390/met8090686>.

Sarna S.K., 2015 — *Sarna S.K.* Quality of Lime for Steelmaking in Converter. – 2015, www.ispatguru.com.

Schrama F.N.H., Beunder E.M., van den Berg B., Yang Y., Boom R., 2017 — *Schrama F.N.H., Beunder E.M., van den Berg B., Yang Y., Boom R.* Sulphur removal in ironmaking and oxygen steelmaking. *Ironmak. Steelmak. Process. Prod. Appl.* 2017. – 333 p.

Smirnov A.N., Epishev M.V., Pismarev K.E., 2009 — *Smirnov A.N., Epishev M.V., Pismarev K.E.* The Mechanism of Hydrogen Influence on Breakthrough Formation at continuous casting of steel. 2009. – 15 p.

Van Loo, F., Douce, J.F., Martinez Pacheco M., Evrard M., Pietruck R., Schmid H., 2014 — *Van Loo, F., Douce, J.F., Martinez Pacheco M., Evrard M., Pietruck R., Schmid H.* Improved Sinter Mix Preparation While Using Challenging Raw Materials (IMSIMI) Final Report; Research Fund for Coal and Steel (European Commission EUR 27901 EN), Brussels, Belgium: European Commission. 2014.

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY
OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
ISSN 2224-5227
Volume 345, Number 1 (2023), 229–242
<https://doi.org/10.32014/2023.2518-1483.197>

УДК 615.322

© **N.B. Zhumadilda**^{1*}, **N.G. Gemejiyeva**², **Zh.Zh. Karzhaubekova**²,
N.A. Sultanova¹, 2023

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan;
²RSE on the REM "Institute of Botany and Phytointroduction" FWC of the
Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan,
Almaty, Kazakhstan.

E-mail: nargiz.zhumadilda@mail.ru

PHYTOCHEMICAL INVESTIGATION OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES OF *HEDYSARUM SONGORICUM* BONG

Zhumadilda Nargiz Baltabaykyzy — doctoral student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

E-mail: nargiz.zhumadilda@mail.ru. ORCID ID: <https://orcid.org/0000000320091168>;

Gemejiyeva Nadezhda Gennadiyevna — doctor of biological sciences (D. Sc.), Republican State Enterprise on the Right of Economic Management “Institute of Botany and Phytointroduction” of the Committee of Forestry and Wildlife of the Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan. Almaty, Kazakhstan.

E-mail: ngemed58@mail.ru. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7317-2685>;

Karzhaubekova Zhannat Zhumabekovna — candidate of chemical sciences, Republican State Enterprise on the Right of Economic Management “Institute of Botany and Phytointroduction” of the Committee of Forestry and Wildlife of the Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan. Almaty, Kazakhstan.

E-mail: zhanna1322@mail.ru. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4750-0884>;

Sultanova Nurgul Adaybayevna — D.Sc. L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

E-mail: nureu@mail.ru. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7970-9105>.

Abstract. The article presents for the first time data on the study of the component composition of the aboveground mass (leaves, stems, flowers) of the *Hedysarum songoricum* Bong. of the family *Fabaceae* Lindl. harvested in accordance with the principles of World Health Organization guidelines on good agricultural and collection practices (GACP) for medicinal plants in June 2021 in the flowering phase on the territory of Zhambyl areas. According to the generally accepted standard methods of the State Pharmacopoeia of the Republic of Kazakhstan, the preparation, primary processing and parameters of pharmacopoeia of plant raw materials are carried out. Estimated indicators of humidity — loss of mass during drying (4,40 %), and total ash (5,06 %) correspond to the norms of quality raw materials. Different polar and non-polar organic extractants were used to determine

the amount of extractive substances. The largest number of extractive substances were found in 50 % (26,15 %) and 90 % (23,43 %) aqueous-ethanol solvents by comparison with benzene (6,48 %), ethyl acetate (6,07 %) and chlorine (3,76 %). Evaluation of the main groups of biologically active compounds is carried out on the basis of qualitative reactions of precipitation, foaming, complex formation with specific reagents. It was found that the main classes of natural compounds are polyphenols (oxidized forms of flavonoids, coumarins, condensed tannins), amino compounds (groups of amino acids and alkaloids), saponins (groups of triterpene and steroid) and carbohydrates. The quantitative content of the main classes of natural metabolites was determined on the basis of titrimetric and spectrophotometric methods of analysis. The basis of the obtained data is that in the aerial part of the raw material content of alkaloids – 6,12 %, amino acid – 4,82 %, tannins of condensed type – 4,56 %, saponins – 1,02 % and flavonoids - 0,25 % on absolutely dry raw materials respectively.

Keywords: *Hedysarum songoricum* Bong., phytochemical analysis, goodness, biologically active compounds, titrimetry, spectrophotometry

© Н.Б. Жұмаділда^{1*}, Н.Г. Гемеджиева², Ж.Ж. Қаржаубекова²,
Н.А. Сұлтанова¹, 2023

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан;

²ҚР ЭТРМ ОШЖДК «Ботаника және фитоинтродукция институты» РМК,
Алматы, Қазақстан.

E-mail: nargiz.zhumadilda@mail.ru

HEDYSARUM SONGORICUM BONG. БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІ ЗАТТАРЫНЫҢ ФИТОХИМИЯЛЫҚ ТАЛДАУ

Жұмаділда Нургиз Балтабайқызы — Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің докторанты, Астана, Қазақстан

E-mail: nargiz.zhumadilda@mail.ru. ORCID <https://orcid.org/0000000320091168>;

Гемеджиева Надежда Геннадиевна — биология ғылымдарының докторы, Қазақстан Республикасының Экология және табиғи ресурстар министрлігі Орман шаруашылығы және жануарлар дүниесі комитетінің "Ботаника және фитоинтродукция институты" шаруашылық жүргізу құқығындағы республикалық мемлекеттік кәсіпорны. Алматы, Қазақстан

E-mail: ngedmed58@mail.ru. ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7317-2685>;

Қаржаубекова Жаннат Жұмабекқызы — химия ғылымдарының кандидаты, – Қазақстан Республикасының Экология және табиғи ресурстар министрлігі Орман шаруашылығы және жануарлар дүниесі комитетінің "Ботаника және фитоинтродукция институты" шаруашылық жүргізу құқығындағы республикалық мемлекеттік кәсіпорны. Алматы, Қазақстан

E-mail: zhanna1322@mail.ru. ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4750-0884>;

Сұлтанова Нүргүл Адайбайқызы — химия ғылымдарының докторы. Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

E-mail: nureu@mail.ru. ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7970-9105>.

Аннотация. Бұл мақалада бірінші рет Жамбыл аумағында 2021 жылдың маусым айында гүлдену кезеңінде дәрілік өсімдіктерді

өсіру мен жинаудың (GACP) тиісті практикасы қағидаттарына сәйкес жиналған бұршақ тұқымдасының (*Fabaceae* Lindl.) тиынтақ тұқымы (*Hedysarum* Linn.) жоңғар тиынтағы түрінің (*Hedysarum songoricum* Bong.) жер үсті бөлігінің (жапырақтары, сабақтары, гүлдері) құрамдас құрамын зерттеу туралы деректер берілген. Қазақстан Республикасы Мемлекеттік Фармакопеясының жалпы қабылданған стандартты әдістеріне сәйкес жинақтау, алғашқы өңдеу жұмыстары жүргізіліп, өсімдік шикізатының фармакопея параметрлері анықталды. Ылғалдылықтың белгіленген көрсеткіштері — кептіру кезіндегі салмақ жоғалтуы (4,40 %), жалпы күлділігі (5,06 %) сапалы өсімдік шикізатына қойылатын стандарттарына сәйкес келеді. Экстрактивті заттардың мөлшерін анықтау үшін әртүрлі полярлы және полярсыз органикалық экстрагенттер пайдаланылды. Экстрактивті заттардың ең көп мөлшері бензолмен (6,48 %), этилацетатпен (6,07 %) және хлороформмен (3,76 %) салыстырғанда 50 %-дық (26,15 %) және 90 %-дық (23,43 %) су-спирт еріткіштерімен экстракцияланды. Биологиялық белсенді қосылыстардың негізгі топтарын бағалау нақты реагенттерді қолдану арқылы тұндыру, көбік тұзу, кешенді қосылыстар түзілудің сапалық реакциялар негізінде жүргізілді. Табиғи қосылыстардың негізгі кластары ретінде полифенолдар (флавоноидтардың тотыққан түрлері, кумариндер, конденсацияланған таниндер), аминді қосылыстар (амин қышқылдары мен алкалоидтар), сапониндер (тритерпен және стероидты топтар) және көмірсулар екендігі анықталды. Табиғи метаболиттердің негізгі кластарының сандық құрамы титриметриялық және спектрофотометриялық талдау әдістерінің негізінде анықталды. Алынған мәліметтерге сүйенсек, зерттелетін өсімдік шикізатының жер үсті бөлігінде алкалоидтардың мөлшері 6,12 %, амин қышқылдары – 4,82 %, конденсацияланған түрдегі таниндер – 4,56 %, сапониндер – 1,02 % және флавоноидтар, абсолютті құрғақ шикізат үшін – 0,25 % сәйкесінше бар екендігі шығады.

Түйін сөздер: *Hedysarum songoricum* Bong., фитохимиялық талдау, сапалық көрсеткіш, биологиялық белсенді қосылыстар, титриметрия, спектрофотометрия

© Н.Б. Жумадила*¹, Н.Г. Гемеджиева², Ж.Ж. Каржаубекова²,
Н.А. Султанова¹, 2023

¹Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева,
Астана, Казахстан;

²РГП на ПХВ «Институт ботаники и фитоинтродукции» КЛХЖМ МЭПР
РК, Алматы, Казахстан.

E-mail: nargiz.zhumadilda@mail.ru

ФИТОХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ *HEDYSARUM SONGORICUM* BONG

Жумадила Наргиз Балтабайкызы — докторант Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

E-mail: nargiz.zhumadilda@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000000320091168>;

Гемеджиева Надежда Геннадиевна — доктор биологических наук. РГП на ПХВ “Институт ботаники и фитоинтродукции”. Комитета лесного хозяйства и животного мира Министерства экологии и природных ресурсов Республики Казахстан. Алматы, Казахстан

E-mail: ngemed58@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7317-2685>;

Каржаубекова Жаннат Жумабековна — кандидат химических наук, РГП на ПХВ “Институт ботаники и фитоинтродукции”. Комитета лесного хозяйства и животного мира Министерства экологии и природных ресурсов Республики Казахстан. Алматы, Казахстан

E-mail: zhanna1322@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4750-0884>;

Султанова Нургуль Адайбаевна — доктор химических наук. Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

E-mail: nureu@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7970-9105>.

Аннотация. В статье впервые приводятся данные по исследованию компонентного состава надземной массы (листья, стебли, цветы) копеечника джунгарского (*Hedysarum songoricum* Bong.) из семейства бобовых (*Fabaceae* Lindl.), заготовленной в соответствии с принципами Надлежащей практики культивирования и сбора (GACP) лекарственных растений в июне 2021 года в фазу цветения на территории Жамбылской области. По общепринятым стандартным методикам Государственной Фармакопеи Республики Казахстан осуществлена заготовка, первичная обработка и определены фармакопейные параметры растительного сырья. Установленные показатели потеря массы при высушивании (4,40 %), общей золы (5,06 %) соответствуют нормам предъявляемым качественному растительному сырью. Для выявления содержания экстрактивных веществ использовали различные полярные и неполярные органические экстрагенты. Наибольшее количество веществ извлекались 50 %-ным (26,15 %) и 90 %-ным (23,43 %) водно-спиртовыми растворителями по сравнению с бензольным (6,48 %), этилацетатным (6,07 %) и хлороформным (3,76 %). Оценка основных групп биологически активных соединений проведена на основании качественных реакций осаждения, пенообразования, комплексообразования с применением специфических реагентов. Выявлено, что основными классами природных соединений являются полифенолы (окисленные формы флавоноидов,

кумарины, конденсированные дубильные вещества), аминокислоты, аминосодержащие соединения (аминокислоты и алкалоиды), сапонины (тритерпеновой и стероидной группы) и углеводы. Количественное содержание основных классов природных метаболитов определяли на основании титриметрических и спектрофотометрических методов анализа. Установлено, что в надземной массе исследуемого растительного сырья содержание алкалоидов составляет 6,12 %, аминокислот – 4,82 %, дубильных веществ конденсированного типа – 4,56 %, сапонинов – 1,02 % и флавоноидов – 0,25 % на абсолютно сухое сырье соответственно.

Ключевые слова: *Hedysarum songoricum* Bong., фитохимический анализ, доброкачественность, биологически активные соединения, титриметрия, спектрофотометрия

Введение

В настоящее время отечественный фармацевтический рынок пополняется лекарственными средствами растительного происхождения, так как доказана их эффективность и безопасность, что обуславливает их возрастающую популярность и расширение арсенала. Научный и практический интерес представляют именно дикорастущие лекарственные растения, занимающие обширные территории произрастания, что позволяют в полной мере восполнить потребности в лекарственном сырье. Среди богатейшей флоры Республики Казахстан значительный интерес представляют растения семейства бобовые (*Fabaceae* Lindl.), которые активно используются для получения различных фитопрепаратов, обладающих широким спектром фармакологической активности. Одним из перспективных родов данного семейства является копеечник (*Hedysarum* Linn.). Известно, что многие виды рода *Hedysarum* Linn. применяются в народной медицине для лечения сердечных, хронических легочных заболеваний, а также ряда простудных и кожных заболеваний вирусной природы (Грудзинская, 2014; Соколов, 1987). На основе многочисленных исследований установлена противотуберкулезная, противоопухолевая, гепатопротекторная, антибиотическая, антиоксидантная, иммуностимулирующая, диуретическая, желчегонная, гипогликемическая активность (Неретина, 2004; Ghosal, 1987; Finnegan, 1973; Miura, 2001; Serebryanaya, 2020; Gambacorta, 2014).

Безусловно, их лечебные свойства обусловлены наличием в них специфических природных соединений — ксантонов, флавоноидов, сапонинов, жирных кислот, полисахаридов и других (Высочина, 2011; Tibe, 2011; Yi, 2006; Uyar, 2017).

Во флоре Республики Казахстан встречаются 38 видов растений рода копеечник (Грудзинская, 2014), некоторые из которых ранее не исследованы на содержание биологически активных веществ (БАВ). В связи с этим данная работа посвящена изучению химического состава *Hedysarum songoricum* Bong.

Материалы и методы

Сбор и заготовку дикорастущего сырья копеечника джунгарского (*Hedysarum songoricum* Bong.) из семейства бобовых (*Fabaceae* Lindl.) осуществляли в соответствии с принципами Надлежащей практики культивирования и сбора (GACP) лекарственных растений. Заготавливали надземную часть растения в фазу цветения в июне 2021 года на территории Жамбылской области. В качестве лекарственного растительного сырья используют обмолоченную траву копеечника (листья, листочки, соцветия и верхние части облиственных побегов). При заготовке облиственную часть стеблей срезают на высоте 10–20 см от поверхности почвы. Срезанную траву без промедления «подвяливают» на открытом воздухе в течение суток, раскладывая тонким слоем на месте заготовки, после чего доставляют к месту окончательной сушки. Заготовку лекарственного растительного сырья проводили в течение всего светового дня.

Сушку надземной части копеечника джунгарского осуществляли на производственной площадке лаборатории растительных ресурсов РГП на ПХВ «Институт ботаники и фитоинтродукции» КЛХЖМ МЭПР РК под навесами или в хорошо проветриваемом помещении при температуре $25 \pm 5^\circ\text{C}$, разложив сырье тонким слоем на подстилочном материале (плотной оберточной крафт-бумаге) с условием периодического ворошения (не менее 2 раз в сутки), удаляя при этом примесь других растений, попавших в сырье при заготовке. Сушка считается законченной, когда стебли при сгибании ломаются. Высушенную траву обмолачивают и удаляют из нее стебли толще 2 мм в диаметре. Выход сухого сырья — около 20 % от массы свежесобранного сырья. Воздушно-сухое растительное сырье упаковывали в двойные бумажные мешки и хранили в сухом прохладном месте. Гербарные образцы вида хранятся в лаборатории растительных ресурсов РГП на ПХВ «Институт ботаники и фитоинтродукции» КЛХЖМ МЭПР РК.

Фармакопейные параметры растительного сырья (потеря в массе при высушивании, общая зола, сухой остаток экстрактов) определены по методикам Государственной Фармакопеи (ГФ) Республики Казахстан.

Для исследования компонентного состава биологически активных веществ (БАВ) получены извлечения по следующей методике: измельченное растительное сырье с размером частиц 1 мм, массой 2 г экстрагировали 50 %-ным, 90 %-ным водно-этиловым спиртом, хлороформом, этилацетатом и бензолом. Экстракцию проводили на водяной бане в мягких условиях при температуре не выше 40°C . Извлечения фильтровали через бумажный фильтр, растительное сырье промывали дважды соответствующим экстрагентом, высушивали до сухого остатка. Полученные сухие остатки использовали для дальнейшего анализа компонентного состава.

В работе применяли общепринятые фитохимические методы исследования растительного сырья. Качественная оценка основных групп БАВ проведена на основе специфических реагентов: пары аммиака, AlCl_3 (2 %-ный водно-

этиловый раствор), ванилин (1 %-ный раствор в конц. HCl), NaNO_2 (5 %-ный водный раствор), $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ (1 %-ный водный раствор), нингидрин (2 %-ный водный раствор), желатин (1 %-ный водный раствор), FeCl_3 (1 %-ный водный раствор), 0,1 н водные растворы HCl и NaOH, а также с реактивами Драгендорфа, Вагнера, Бушарда, «Лактонная проба», «Цианидиновая проба», «проба Молиша» (Гринкевич, 1983).

Количественное определение флавоноидов проводили спектрофотометрическим методом: 1 г измельченного в порошок сырья и 100 мл 50 %-ного этанола, содержащего 1 %-ный раствор кислоты хлороводородной, помещали в колбу вместимостью 250 мл, нагревали с обратным холодильником на кипящей водяной бане в течение 30 мин, охлаждали и фильтровали через бумажный фильтр, смоченный 50 %-ным этанолом в мерную колбу вместимостью 250 мл. Экстракцию повторяли двукратно 50 %-ным этанолом порциями по 50 мл, каждый раз проводя нагревание на кипящей водяной бане в течение 30 мин. Извлечения фильтровали через тот же фильтр в ту же мерную колбу, промывали фильтр 50 %-ным этанолом. Полученный фильтрат доводили тем же растворителем до объема 250 мл (раствор А). К 2 мл раствора А прибавляли 1 мл 1 %-ного раствора алюминия хлорида в 96 %-ном этаноле и доводили 96 %-ным этанолом до объема 25 мл (раствор Б). 2 мл раствора А доводили 96 %-ным этанолом до объема 25 мл (контрольный раствор). Измеряли оптическую плотность испытуемого раствора при длине волны 430 нм через 20 мин после его приготовления. Содержание суммы флавоноидов рассчитывали в пересчете на кверцетин и абсолютно сухое сырье (Государственная Фармакопея Республики Казахстан, 2014).

Для количественного определения алкалоидов берут точную навеску массой 1 г измельченного в порошок сырья, 10 мл хлороформа и 0,5 мл аммиака помещают в колбу вместимостью 150 мл, закрывают пробкой и встряхивают в течение 2 часов. Хлороформное извлечение фильтруют через ватный тампон. 5 мл фильтрата переносят в колбу вместимостью 100 мл и отгоняют до объема 1–2 мл. Остаток хлороформа удаляют продуванием воздухом, затем прибавляют 2 мл 0,1 М раствора натрия гидроксида и растирают стеклянной палочкой до полного исчезновения комочков. Затем добавляют 8 мл воды и перемешивают в течение 2–3 мин. К полученному раствору прибавляют 10 мл 0,1 М кислоты хлороводородной перемешивают и встряхивают в течение 8–10 мин. К 10 мл полученного фильтрата прибавляют 10 мл воды, 2 капли раствора метилового красного и оттитровывают избыток кислоты 0,1 М раствором натрия гидроксида до появления желтого окрашивания (Государственная Фармакопея Республики Казахстан, 2014).

Определение суммы свободных аминокислот проводилось с нингидрином и последующем спектрофотометрировании полученного окрашенного комплекса при длине волны около 570 нм (Кисилёва, 2016). Около 5 г (точная навеска) растительного сырья, измельченного до размера частиц, проходящих сквозь сито с диаметром отверстий 2 мм, помещали в колбу вместимостью

200 мл, прибавляли 100 мл воды дистиллированной и нагревали с обратным холодильником на кипящей водяной бане в течение 1 ч. После охлаждения и извлечение фильтровали через обеззоленный фильтр в мерную колбу вместимостью 100 мл; объем доводили до метки водой, перемешивали (исследуемый раствор А). 20 мл раствора А доводили до 100 мл водой (раствор Б). Около 0,05 г (точная навеска) кислоты глутаминовой помещали в мерную колбу вместимостью 100 мл, растворяли в 20–30 мл воды и доводили раствор водой до метки (раствор стандартного образца). 1 мл исследуемого раствора Б помещали в мерную колбу вместимостью 50 мл прибавляли 1 мл 0,25 %-ного раствора карбоната натрия. 2 мл спиртового раствора нингидрина и нагревали 10 минут на кипящей водяной бане. После охлаждения раствор доводили водой до метки. Параллельно в мерную колбу вместимостью 50 мл помещали 1 мл раствора РСО кислоты глутаминовой. Оптическую плотность полученных растворов измеряли на спектрофотометре при длине волны 568 нм в кювете с толщиной слоя жидкости 10 мм относительно воды. Содержание суммы аминокислот рассчитывали в % в пересчете на кислоту глутаминовую.

Методика определения тритерпеновых сапонинов проведена спектрофотометрическим методом (Гринкевич, 1983). Около 2 г измельченного сырья, проходящего сквозь сито с диаметром отверстий 2 мм (точная навеска), помещали в колбу вместимостью 150 мл, прибавляли 20 мл 3 %-ного ацетонового раствора HNO_3 и настаивали в течение 1 ч при частом и сильном взбалтывании. Извлечение отфильтровывали в цилиндр вместимостью 100 мл. В колбу с сырьем приливали еще 20 мл ацетона, которым одновременно смывали порошок с фильтра, и смесь кипятили с обратным холодильником на водяной бане в течение 5 мин. Экстракцию горячим ацетоном повторяли таким образом еще 2 раза и промывали ацетоном сырье до тех пор, пока объем жидкости в цилиндре не достигнет 100 мл. Жидкость из цилиндра выливали в стакан вместимостью 200 мл. Цилиндр ополаскивали 40 мл этилового спирта, который затем выливали в тот же стакан. Далее по каплям при интенсивном помешивании добавляли концентрированный раствор аммиака до появления обильного светло-желтого творожистого осадка (рН 8,3–8,6). Осадок вместе с маточной жидкостью переносили на фильтр, помещенный в воронку Бюхнера и отфильтровывали. Стакан и фильтр с осадком промывали 50 мл ацетона в 3–4 приема. Осадок с фильтром переносили в стакан, в котором проводилось осаждение, и растворяли в 50 мл воды. Полученный раствор количественно переносили в мерную колбу вместимостью 250 мл. Фильтр несколько раз промывали небольшими порциями воды, присоединяя их к основному раствору. Доводили объем раствора водой до метки (раствор А). 30 мл полученного раствора А помещали в мерную колбу вместимостью 500 мл и доводили объем раствора водой до метки (раствора Б). Измерение проводили при длине волны 258 нм.

Содержание дубильных веществ устанавливали титриметрическим методом (Гринкевич, 1983). Для этого около 2 г (точная навеска) измельченного

сырья, просеянного сквозь сито с диаметром отверстий 3 мм, помещали в коническую колбу вместимостью 100 мл, заливают 50 мл кипящей воды и нагревают на водяной бане в течение 30 мин при частом перемешивании. Жидкость отстаивали в течение нескольких минут и осторожно процеживали через вату в мерную колбу вместимостью 250 мл так, чтобы частицы сырья не попадали на вату. Сырье в колбе повторно извлекали кипящей водой, как указано выше, процеживая жидкость в ту же мерную колбу. Извлечение повторяли несколько раз до отрицательной реакции на дубильные вещества (проба с раствором железозаммониевых квасцов). Жидкость в мерной колбе охлаждали и объем извлечения доводили водой до метки. 25 мл полученной жидкости помещали в коническую колбу вместимостью 1 л, добавляли 750 мл воды и 25 мл раствора индигосульфокислоты и титровали при постоянном перемешивании 0,1 н перманганатом калия до золотисто-желтого окрашивания.

Результаты и обсуждения

Для исследуемого растительного сырья определены фармакопейные параметры. Так, потеря массы при высушивании составила 4,40 %, а суммарное содержание общей золы — 5,10 %, что соответствуют нормам, предъявляемым для качественного анализа растительного сырья.

Экстрактивными веществами лекарственного растительного сырья условно называют комплекс органических и неорганических веществ, извлекаемых из растительного сырья соответствующим растворителем и определяемых количественно в виде сухого остатка. Содержание экстрактивных веществ в лекарственном растительном сырье — важный числовой показатель, определяющий его доброкачественность, особенно для тех видов сырья, у которых количественное определение действующих веществ не проводится. Количество экстрактивных веществ определяли несколькими растворителями: 50 %-ным и 90 %-ным этиловым спиртом, хлороформом, этилацетатом и бензолом. Данные по содержанию экстрактивных веществ надземной массы *Hedysarum songoricum* Bong. с использованием различных экстрагентов приведены на рисунке 1.

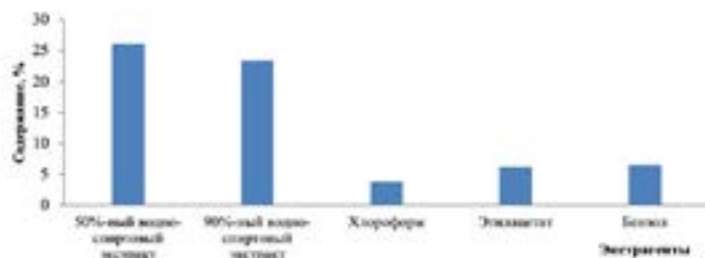


Рис. 1. Содержание экстрактивных веществ в надземной массе *Hedysarum songoricum* Bong.

(Fig. 1. The content of extractive substances in the aboveground mass of *Hedysarum songoricum* Bong.)

Наибольшее содержание экстрактивных веществ наблюдается в водно-спиртовых извлечениях. Так, количество экстрактивных веществ в 50 %-ном этиловом спирте составляет 26,15 %, а в 90 %-ном этиловом спирте – 23,43 %. Органические неполярные извлечения экстрагируют меньшее количество веществ: бензол – 6,48 %, этилацетат – 6,07 % и хлороформ – 3,76 % соответственно. Таким образом, 50 %-ный и 90 %-ный этиловый спирт являются наиболее эффективными экстрагентами растворителями для дальнейшего извлечения и исследования экстрактивных веществ.

Для выявления качественного состава экстрактивных веществ в полученных извлечениях проведен фитохимический анализ с использованием различных специфических реагентов. Данные приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Фитохимический анализ экстрактов надземной массы *Hedysarum songoricum* Bong.

Реагенты	Экстракты/ окрашивание				
	50 %-ный водно-спирт	90 %-ный водно-спирт	Хлороформ	Этилацетат	Бензол
Пары NH ₃	Желтое	Желтое	–	–	–
2 %-ный спиртовой раствор AlCl ₃	Ярко-желтое	Ярко-желтое	–	–	–
1 %-ный раствор ванилина в концентрированной HCl	–	–	–	–	–
5 %-ный раствор NaNO ₂	Розовое	Розовое	–	–	–
2 %-ный раствор Pb(CH ₃ COO) ₂	–	–	–	–	–
Лактонная проба	Помутнение	Помутнение	Помутнение	Помутнение	Помутнение
Цианидиновая проба	Оранжевое	Оранжевое	–	–	–
0,1 н водный раствор HCl	Пена	Пена	–	–	–
0,1 н водный раствор NaOH	Пена	Пена	–	–	–
Реактив Драгендорфа	Кирпично-красное	Кирпично-красное	Кирпично-красное	–	–
Реактив Вагнера	Бурые осадки	Бурые осадки	–	–	–
Реактив Бушарда	Бурые осадки	Бурые осадки	–	–	–
1 %-ный раствор нингидрина	Фиолетовое	Фиолетовое	Фиолетовое	–	–
Проба Молиша	Красное	Красное	–	–	–
1 %-ный раствор желатина	Помутнение	Помутнение	–	Помутнение	–
2 %-ный спиртовой раствор FeCl ₃	Зеленое	Зеленое	Желтое	Желто-зеленое	Желтое

Примечание «-» - отрицательный результат

Таблица 2. Качественный состав БАВ экстрактов надземной массы *Hedysarum songoricum* Bong.

Классы соединений	Экстракты				
	50 %-ный водно-спирт	90 %-ный водно-спирт	Хлороформ	Этилацетат	Бензол
Флавоноиды	+++	+++	–	+	–
Кумарины	+	+	+	+	+
Сапонины	+++	+++	–	–	–
Алкалоиды	++	+	++	–	–
Аминокислоты	+++	++	–	–	–
Углеводы	+	+	–	–	–
Дубильные вещества	+++	+++	–	+	–

Примечание: «+++» – наибольшее содержание; «++» – среднее содержание; «+» – следы; «–» – отсутствуют

В водно-этиловых извлечениях в наибольшем количестве выявлены флавоноиды, аминокислотосодержащие соединения, дубильные вещества (конденсированного типа), сапонины (тритерпеновой и стероидной группы), в меньшей степени – углеводы и кумарины.

Помутнение с лактонной пробой, осадок с реактивами Драгендорфа, Вагнера, Буршарда в хлороформном извлечении свидетельствует о наличии кумаринов и алкалоидов соответственно.

Бензолом и этилацетатом извлекается наименьшее количество биологически активных веществ.

Для установления точного содержания обнаруженных компонентов провели количественный анализ основных групп БАВ в надземной массе *Hedysarum songoricum* Bong. Флавоноиды, аминокислоты, сапонины определили спектрофотометрическим методом. Содержание флавоноидов составило 0,25 % (в пересчете на кверцетин), аминокислот – 4,82 % (в пересчете на глутаминовую кислоту); сапонинов – 1,02 % (в пересчете на глицирризиновую кислоту) соответственно.

Алкалоиды и дубильные вещества определили титриметрическим методом. Установлено, что алкалоиды содержатся в количестве 6,12 % (в пересчете на цитизин), а дубильные вещества – 4,56 %.

Результаты определения количественного содержания биологически активных соединений надземной массы *Hedysarum songoricum* Bong. приведены в таблице 3.

Таблица 3. Количественное содержание биологически активных соединений надземной массы *Hedysarum songoricum* Bong.

Классы соединений	Содержание, % (на абсолютно сухое сырье)
Флавоноиды	0,25
Алкалоиды	6,12
Аминокислоты	4,82
Сапонины	1,02
Дубильные вещества	4,56

Из приведенных в таблице 3 данных следует, что действующими веществами надземной массы *Hedysarum songoricum* являются аминокислоты, дубильные вещества, флавоноиды и сапонины.

Углубленное исследование химического состава БАВ надземной массы *Hedysarum songoricum* Bong. нами продолжается.

Закключение

1. Определены фармакопейные параметры надземной массы *Hedysarum songoricum* Bong.: потеря массы при высушивании (4,40 %), общая зола (5,10 %), содержание экстрактивных веществ в 50 %-ном водно-этиловом спирте (26,15 %), 90 %-ном водно-этиловом спирте (23,43 %), хлороформе (3,76 %), этилацетате (6,07 %) и бензоле (6,48 %) соответственно.

2. Оценка основных групп биологически активных соединений проведена на основании качественных реакций осаждения, пенообразования, комплексообразования с применением специфических реагентов. Выявлено наличие различных классов природных соединений: полифенолы (окисленные формы флавоноидов, кумарины, конденсированные дубильные вещества), аминокислоты (аминокислоты и алкалоиды), сапонины (тритерпеновой и стероидной группы) и углеводы.

3. Количественное содержание основных классов природных метаболитов определили на основании титриметрических и спектрофотометрических методов анализа. Содержание алкалоидов составляет – 6,12 %, аминокислот – 4,82 %, дубильных веществ конденсированного типа – 4,56 %, сапонинов – 1,02 % и флавоноидов – 0,25 %.

ЛИТЕРАТУРА

Finnegan R.A., Merkel K.E., Patel J.K. 1973 — Finnegan R.A., Merkel K.E., Patel J.K., Constituents of *Mammea americana* L. XII: Biological data for xanthenes and benzophenones, J. Pharm. Sciences. – 1973. – 62. – С. 483–485.

Gambacorta E., Simonetti A., Garrisi N., Intaglietta I., Perna A. 2014 — Gambacorta E., Simonetti A., Garrisi N., Intaglietta I., Perna A., Antioxidant properties and phenolic content of sulla (*Hedysarum* spp.) honeys from Southern Italy, International Journal of Food Science and Technology. – 2014. – 49. – 2260–2268. DOI:10.1111/ijfs.12541

Ghosal S., Biswas K., Chaudhuri R.H. 1987 — Ghosal S., Biswas K., Chaudhuri R.H., Chemical constituents of *Gentianaceae*. XXIV. Antimycobacterium tuberculosis activity of naturally occurring xanthenes and synthetic analogs. J. Pharm. Sci. – 1987. – 67. – №5. С. 721–722.

Miura T., Ichiki H., Hashimoto I., Iwamoto N., Kato M., Kubo M., Ishihara E., Komatsu Y., Okada M., Ishida T., Tanigawa K. 2001 — *Miura T., Ichiki H., Hashimoto I., Iwamoto N., Kato M., Kubo M., Ishihara E., Komatsu Y., Okada M., Ishida T., Tanigawa K.*, Antidiabetic Activity of a Xanthone Compound, Mangiferin. *Phytomedicine*. – 2001. – 8. – №2. – С. 85–87. DOI: 10.1078/0944-7113-00009

Руководящие принципы ВОЗ по надлежащей практике культивирования и сбора (GACP) лекарственных растений. Всемирная организация здравоохранения, 2003 — Женева. – 2003. – С. 86. ULR: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/85341>

Serebryanaya F.K., Imachueva Dj.R., Guseynova Z.A. 2020 — *Serebryanaya F.K., Imachueva Dj.R., Guseynova Z.A.*, Pharmacognostical Investigations of *Hedysarum Caucasicum* Bieb. (*Fabaceae*) - An Ethnomedicinal Plant of Northern Caucasus, Russia, Determination of Mangiferin and Antibacterial Potentials. *Pharmacogn J.* – 2020. – 12. – №3. – С. 510-518. DOI : 10.5530/pj.2020.12.78

Tibe O., Meagher P.L., Fraser K., Harding R.D. 2011 — *Tibe O., Meagher P.L., Fraser K., Harding R.D.*, Condensed tannins and flavonoids from the forage legume sulla (*Hedysarum coronarium*), *J. Agric. Food Chem.* – 2011. – 59. – 17. – 9402–9409. DOI: 10.1021/jf2014759

Uyar Z, Koz Ö, Uyar E, Arslan Ü, Koyuncu I, Nalbantsoy A. 2017 — *Uyar Z, Koz Ö, Uyar E, Arslan Ü, Koyuncu I, Nalbantsoy A.*, Total Phenolic, Flavonoid, Fatty Acid Contents and Cytotoxic, Antioxidant, and Antimicrobial Activities of *Hedysarum aucheri*, *Journal of Pharmaceutical Research International*. – 2017. – 19. – №3. – 1-13. DOI:10.9734/JPRI/2017/37104

Yi Liu, Qingying Zhang, Hubiao Chen, Bin Wang, Dongge An, Yuying Zhao 2006 — *Yi Liu, Qingying Zhang, Hubiao Chen, Bin Wang, Dongge An, Yuying Zhao*, Structural determination of saponins from *Hedysarum polybotrys*, *Magn. Reson. Chem.* – 2006. – 44. – 1128–1130. DOI: 10.1002/mrc.1903

Высочина Г.И., Кукушкина Т.А. 2011 — *Высочина Г.И., Кукушкина Т.А.*, Биологически активные вещества некоторых видов рода *Hedysarum* L. – 2011. – №4. – С. 251-258.

Государственная Фармакопея Республики Казахстан. Т.1. 2008 — Алматы: Издательский дом "Жибек Жолы". – 2008. – С. 592

Государственная Фармакопея Республики Казахстан. Т.3. 2014 — Алматы: Издательский дом "Жибек Жолы". – 2014. – С. 872

Гринкевич Н.И., Сафронич Л.Н. 1983 — *Гринкевич Н.И., Сафронич Л.Н.*, Химический анализ лекарственных растений. Учебное пособие. — М.: Высшая школа. – 1983. – С. 176

Грудзинская Л.М., Гемеджиева Н.Г., Нелина Н.В., Каржаубекова Ж.Ж. 2014 — *Грудзинская Л.М., Гемеджиева Н.Г., Нелина Н.В., Каржаубекова Ж.Ж.*, Аннотированный список лекарственных растений Казахстана. – Алматы, 2014. – С. 76-77

Кисилёва А.Н., Крикова А.В., Коган Е.Г. 2016 — *Кисилёва А.Н., Крикова А.В., Коган Е.Г.*, Изучение аминокислотного состава травы копеечника кустарникового (*Hedysarum Fruticosum* Pall.), "Наука молодых" (*Eruditio Juvenium*). – 2016. – № 4. DOI:10.23888/HMJ2016472-76

Неретина О.В., Громова А.С., Луцкий В.И., Семенов А.А. 2004 — *Неретина О.В., Громова А.С., Луцкий В.И., Семенов А.А.*, Компонентный состав видов рода *Hedysarum* (*Fabaceae*), растительные ресурсы. – 2004. – 40. – №4. – С. 111-138.

Соколов П.Д. 1987 — *Соколов П.Д.*, Растительные ресурсы СССР: цветковые растения, их химический состав, использование; Семейства *Hydrangeaceae* – *Haloragaceae*. – Ленинград: Наука, 1987 - 326 с.

REFERENCES

Finnegan R.A., Merkel K.E., Patel J.K., 1973 — *Finnegan R.A., Merkel K.E., Patel J.K.* Constituents of *Mammea americana* L. XII: Biological data for xanthones and benzophenones. *J. Pharm. Sciences*. – 1973. – 62. – Pp. 483–485.

Gambacorta E., Simonetti A., Garrisi N., Intaglietta I., Perna A., 2014 — *Gambacorta*

E., Simonetti A., Garrisi N., Intaglietta I., Perna A. Antioxidant properties and phenolic content of sulla (*Hedysarum* spp.) honeys from Southern Italy, International Journal of Food Science and Technology. – 2014. – 49. – 2260–2268. DOI:10.1111/ijfs.12541.

Ghosal S., Biswas K., Chaudhuri R.H., 1987 — Ghosal S., Biswas K., Chaudhuri R.H. Chemical constituents of *Gentianaceae*. XXIV. Antimycobacterium tuberculosis activity of naturally occurring xanthenes and synthetic analogs. J. Pharm. Sci. – 1987. – 67. – №5. – Pp. 721–722.

Grinkevich N.I., Safronich L.N., 1983 — Grinkevich N.I., Safronich L.N. Chemical analysis of medicinal plants. Study guide. Moscow. – 1983. – P. 176.

Grudzinskaya L.M., Gemejiyeva N.G., Nelina N.V., Karzhaubekova Zh.Zh., 2014 — Grudzinskaya L.M., Gemejiyeva N.G., Nelina N.V., Karzhaubekova Zh.Zh. Annotated listing of medicinal plants of Kazakhstan. – Almaty. – 2014. – Pp. 76–77.

Kiselev A.N., Krikova A.V., Kogan E.G., 2016 — Kiselev A.N., Krikova A.V., Kogan E.G. Study of the amino acid composition of the grass of the shrubby *Hedysarum* (*Hedysarum Fruticosum* Pall.). "Science of the young" (Eruditio Juvenium), – 2016. – № 4. DOI:10.23888/HMJ2016472-76.

Miura T., Ichiki H., Hashimoto I., Iwamoto N., Kato M., Kubo M., Ishihara E., Komatsu Y., Okada M., Ishida T., Tanigawa K., 2001 — Miura T., Ichiki H., Hashimoto I., Iwamoto N., Kato M., Kubo M., Ishihara E., Komatsu Y., Okada M., Ishida T., Tanigawa K. Antidiabetic Activity of a Xanthone Compound, Mangiferin. Phytomedicine. – 2001. – 8. – №2. – Pp. 85–87. DOI: 10.1078/0944-7113-00009.

Neretina O.V., Gromova A.S., Luski V.I., Semenov A.A., 2004 — Neretina O.V., Gromova A.S., Luski V.I., Semenov A.A. Component composition of species of the genus *Hedysarum* (*Fabaceae*). Plant resources. – 2004. – 40. – №4. – Pp. 111–138.

Serebryanaya F.K., Imachueva Dj.R., Guseynova Z.A., 2020 — Serebryanaya F.K., Imachueva Dj.R., Guseynova Z.A. Pharmacognostical Investigations of *Hedysarum Caucasicum* Bieb. (*Fabaceae*) - An Ethnomedicinal Plant of Northern Caucasus, Russia, Determination of Mangiferin and Antibacterial Potentials. Pharmacogn J. – 2020. – 12. – №3. – Pp. 510–518. DOI: 10.5530/pj.2020.12.78.

Sokolov P.D., 1987 — Sokolov P.D. Plant resources of the USSR: flowering plants and their chemical composition, usage; *Hydrangea families – Haloragaceae*. Leningrad. – 1987. – P. 328.

State Pharmacopoeia of the Republic of Kazakhstan. Vol.3. 2014 — Almaty. – 2014. – P. 872.

State Pharmacopoeia of the Republic of Kazakhstan. Vol.1 2008 — Almaty. – 2008. – P. 592.

Tibe O., Meagher P.L., Fraser K., Harding R.D., 2011 — Tibe O., Meagher P.L., Fraser K., Harding R.D. Condensed tannins and flavonoids from the forage legume sulla (*Hedysarum coronarium*) J. Agric. Food Chem. – 2011. – 59. – 17. – 9402–9409. DOI: 10.1021/jf2014759.

Uyar Z., Koz Ö., Uyar E., Arslan Ü., Koyuncu I., Nalbantsoy A., 2017 — Uyar Z., Koz Ö., Uyar E., Arslan Ü., Koyuncu I., Nalbantsoy A. Total Phenolic, Flavonoid, Fatty Acid Contents and Cytotoxic, Antioxidant, and Antimicrobial Activities of *Hedysarum aucheri*. Journal of Pharmaceutical Research International. – 2017. – 19. – №3. – 1–13. DOI:10.9734/JPRI/2017/37104.

Vysochina G.I., Kukushkina T.A., 2011 — Vysochina G.I., Kukushkina T.A. Biologically active substances of some species of the genus *Hedysarum* L. Chemistry of plant raw materials. – 2011. – №4. – Pp. 251–258.

World Health Organization, 2003 — WHO guidelines on good agricultural and collection practices (GACP) for medicinal plants. World Health Organization. – 2003. – P. 72. ULR: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42783>.

Yi Liu, Qingying Zhang, Hubiao Chen, Bin Wang, Dongge An, Yuying Zhao, 2006 — Yi Liu, Qingying Zhang, Hubiao Chen, Bin Wang, Dongge An, Yuying Zhao. Structural determination of saponins from *Hedysarum polybotrys*, Magn. Reson. Chem. – 44. – 1128–1130. DOI: 10.1002/mrc.1903.

© S.A. Dzhumadullaeva^{1*}, A.B. Bayeshov², A.V. Kolesnikov³, 2023

¹Khoja Akhmet Yassawi Kazakh-Turkish International University,
Turkistan, Kazakhstan;

²D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry,
Almaty, Kazakhstan;

³JSC D.I. Mendeleev Russian University of Chemical Technology,
Moscow, Russia.

E-mail: sveta.jumadullayeva@ayu.edu.kz

CATALYTIC SYNTHESIS OF CARBOXYLIC ACID HYDRAZIDES OF VARIOUS STRUCTURES

Dzhumadullaeva Sveta Absadykovna — candidate of chemical Sciences. Professor of the Khoja Akhmet Yassawi Kazakh-Turkish International University, Turkistan

E-mail: sveta.jumadullayeva@ayu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-2673-2915>;

Bayeshov Abduali Bayeshovich — doctor of chemical Sciences, academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. D.V. Sokolsky Institute of Fuel. Catalysis and Electrochemistry, Almaty

E-mail: bayeshov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0745-039X>;

Kolesnikov Artem Vladimirovich — candidate of technical Sciences, senior scientific researcher of JSC D.I. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow

E-mail: artkoles@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4586-6612>.

Abstract. In this work, the reaction of hydrazinolysis of aliphatic, aromatic, dicarboxylic acids in the presence of ion-exchange catalysts was considered for the first time. Commercial synthetic ion-exchange resins AV-17–8 and KU-2–8 were used as catalysts. Before use, the anion exchanger and cation exchanger were converted into the OH (H)–form, respectively, and their static exchange capacity was determined. The experiments were carried out under static conditions in a glass reactor with stirring of the reaction mixture. The corresponding hydrazides were obtained by the reaction of butyric, palmitic, oleic, oxalic, maleic, benzoic, and cinnamic acids with aqueous hydrazine. Analysis of the initial substances and reaction products was carried out by photocolometric and IR spectroscopic methods, the composition of the obtained compounds was determined by elemental analysis. The influence of various factors (amount of hydrazine hydrate, catalyst, solvent, temperature, reaction time) on the formation of carboxylic acid hydrazides was studied. The conversion of carboxylic acids was 86–94 %, the yields of hydrazides were 68–90 %. It was shown that reactions with aromatic acids with

electron-donating substituents proceeded in higher yields than with acids with electron-withdrawing substituents. For an aliphatic lower acid (butyric acid), the yield of hydrazide was lower – 68 %. In the case of using higher carboxylic acids as substrates, the highest yield of the product was obtained for palmitic acid (90 %). Among the studied dicarboxylic acids, the best results were obtained for maleic acid with the production of cyclic hydrazide (90 %), compared with oxalic acid (62 %). For all the studied carboxylic acids, the optimal conditions for hydrazinolysis were found. As a result of IR spectroscopic studies, a mechanism for the hydrazinolysis of carboxylic acids with the participation of active sites of ion exchangers was proposed. It is shown that the reaction proceeds with the formation of transition complexes on the surface of the ionite. The practical significance of the work lies in the development of the most efficient method for obtaining carboxylic acid hydrazides.

Key words: carboxylic acid, hydrazine, hydrazide, ion exchanger

© С.А. Жұмаділлаева^{1*}, А.Б. Баешов², А.В. Колесников³, 2023

¹Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті,
Түркістан, Қазақстан;

²Д.В. Сокольский атындағы Жанармай, катализ және электрохимия
институты, АҚ, Алматы, Қазақстан;

³Д.И. Менделеев атындағы Ресей химия-технологиялық университетінің
технопаркі, Москва, Ресей.

E-mail: sveta.jumadullayeva@ayu.edu.kz

ҚҰРЫЛЫСЫ ӘРТҮРЛІ КАРБОН ҚЫШҚЫЛДАРЫ ГИДРАЗИДТЕРІНІҢ КАТАЛИТТІК СИНТЕЗІ

Аннотация. Бұл жұмыста алғаш рет алифатты, ароматты және дикарбон қышқылдарының гидразинолиз реакциясы ионитті катализаторлар қатысында қарастырылды. Катализаторлар ретінде тауарлы синтетикалық ионалмастырғыш шайырлар АВ-17–8 және КУ-2–8 қолданылды. Қолданар алдында анионит ОН-формаға, ал катионит Н-формаға көшірілді және олардың статикалық алмасу сыйымдылығы анықталды. Май қышқылының, пальмитин, олеин, қымыздық, малеин, бензой, қабық қышқылдарының сулы гидразинмен реакциясы арқылы оларға сәйкес гидразидтер алынды. Бастапқы заттардың және реакция өнімдерінің анализі фотоколориметриялық және ИҚ-спектроскопиялық әдістермен жүргізілді, алынған қосылыстардың құрамы элементтік анализ әдісімен анықталды. Карбон қышқылдары гидразидтерінің түзілуіне әртүрлі факторлардың (гидразингидраттың, катализатордың, еріткіштің мөлшері, температура, реакция ұзақтығы) әсері зерттелді. Карбон қышқылдарының конверсиясы 86–94 %, гидразидтердің шығымы 68–90 %-ды құрады. Реакция электрондонорлы орынбасушылары бар ароматты қышқылдармен электронакцепторлы орынбасушылары бар қышқылдарға

қарағанда көп шығыммен жүретіндігі көрсетілді. Алифатты май қышқылы үшін гидразид шығымы төмен (68 %) болды. Субстраттар ретінде жоғары карбон қышқылдарын қолданған жағдайда ең көп шығым пальмитин қышқылы үшін (90 %) алынды. Зерттелген дикарбон қышқылдарының ішінде ең жақсы нәтижелер циклды гидразид түзген малеин қышқылы үшін (90 %) алынды, қымыздық қышқылы жағдайында гидразид шығымы (62 %) төмен болды. Барлық зерттелген карбон қышқылдары үшін гидразиолиз реакциясының оңтайлы жағдайлары анықталды. ИҚ-спектроскопиялық зерттеулер нәтижесінде карбон қышқылдарының гидразиолиз реакциясы иониттің активті орталықтарының қатысуымен жүзеге асатын механизмі ұсынылды. Реакцияның ионит бетінде ауыспалы комплекстердің түзілуімен жүретіндігі көрсетілді. Бұл жұмыстың практикалық маңыздылығы гидразидтерді алудың тиімді әдісін ойластыру болып табылады.

Түйін сөздер: карбон қышқылы, гидразин, гидразид, ионит

© С.А. Джумадуллаева^{1*}, А.Б. Баяшов², А.В. Колесников³, 2023

¹Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, Туркестан, Казахстан;

²Институт топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского, АО, Алматы, Казахстан;

³Технопарк Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева, Москва, Россия.
E-mail: sveta.jumadullayeva@ayu.edu.kz

КАТАЛИТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ГИДРАЗИДОВ КАРБОНОВЫХ КИСЛОТ РАЗЛИЧНОГО СТРОЕНИЯ

Аннотация. В этой работе впервые рассмотрена реакция гидразиолиза алифатических, ароматических, дикарбоновых кислот в присутствии ионитных катализаторов. В качестве катализаторов использовали товарные синтетические ионообменные смолы АВ-17–8 и КУ-2–8. Перед использованием анионит и катионит переводили в ОН (Н)–форму соответственно и определяли их статическую обменную емкость. Опыты проводили в статических условиях в стеклянном реакторе с перемешиванием реакционной смеси. Реакцией масляной, пальмитиновой, олеиновой, щавелевой, малеиновой, бензойной, коричной кислот с водным гидразином были получены соответствующие гидразиды. Анализ исходных веществ и продуктов реакции проводили фотоколориметрическим и ИК-спектроскопическим методами, состав полученных соединений определяли элементным анализом. Изучено влияние различных факторов (количества гидразингидрата, катализатора, растворителя, температуры, продолжительности реакции) на образование гидразидов карбоновых кислот. Конверсия карбоновых кислот составила 86–94 %, выходы гидразидов составили 68–90 %. Показано, что реакции

с ароматическими кислотами с электронодонорными заместителями проходили с большими выходами, чем с кислотами с электроноакцепторными заместителями. Для алифатической низшей кислоты (масляная кислота), выход гидразида оказался ниже – 68 %. В случае использования в качестве субстратов высших карбоновых кислот наибольший выход продукта получен для пальмитиновой кислоты (90 %). Среди изученных дикарбоновых кислот наилучшие результаты получены для малеиновой кислоты с получением циклического гидразида (90 %), по сравнению с щавелевой кислотой (62 %). Для всех изученных карбоновых кислот найдены оптимальные условия проведения гидразинолиза. В результате ИК-спектроскопических исследований предложен механизм гидразинолиза карбоновых кислот с участием активных центров ионитов. Показано, что реакция протекает с образованием переходных комплексов на поверхности ионита. Практическая значимость работы состоит в разработке наиболее эффективного способа получения гидразидов карбоновых кислот.

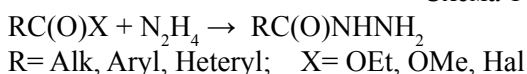
Ключевые слова: карбоновая кислота, гидразин, гидразид, ионит

Кіріспе

Гидразиннің органикалық туындыларының ішінде карбон қышқылдарының гидразидтері ерекше қызығушылық тудырады. Бұл қызығушылық гидразидтер құрамында бірнеше реакциялық қабілетті орталықтардың болуынан органикалық молекулалардың әртүрлі кластарын алу үшін қолайлы бастапқы структуралар екендігіне байланысты. Дегенмен де әдебиеттік мәліметтерді талдау барысында гидразидтердің әлеуетті пайдалы қасиеттерінің алуан түрлі болуына қарамастан, ғылыми әдебиеттерде оларды синтездеу әдістері өте аз қамтылған. Сондықтан бұл қосылыстардың қасиеттерін және органикалық синтезде қолдану мүмкіншілігін ары қарай зерттеу өзекті мәселе болып табылады. Карбон қышқылдары гидразидтерінің субстраттар ретінде дәрілік заттар, инсектофунгицидтер, оптикалық ағартқыштар, полимеризация инициаторлары, полимерлі материалдар және бояғыш заттарға арналған тұрақтандырғыштар синтезінде жартылай өнімдер, түсті металдар минералдарын флотациялық жолмен бөліп алу үшін реагенттер, тұзды суларды тұщыландыруға арналған полимерлі пленкалар мен талшықтар ретінде практикалық маңызы зор (Eckart, 2001: 2232; Saha, 2010: 5).

Алифатты, ароматты және гетероциклды карбон қышқылдарының гидразидтерін синтездеу үшін гидразинді және оның орын басқан туындыларын әртүрлі ацилді қосылыстармен, атап айтқанда, карбон қышқылдарының галогенангидридтерімен, ангидридтерімен, күрделі эфирлерімен әрекеттестіреді (схема 1).

Схема 1



Мұндай процестердің кемшілігіне гидразидтердің шығымы мен процестің селективтілігінің төмен, негізгі өнімді реакциялық қоспадан бөліп алудың күрделі болуы жатады (Chrissie, 2010: 6). Карбон қышқылдарының тұздарын гидразинмен термиялық ыдыратуға негізделген әдістер де белгілі (Drozdetsky, 2000: 3). Бірақ бұл әдістерде $R=CH_3$, $i-C_3H_7$, радикалдары бар төменгі алифатты қышқылдарды қолданғанда негізгі өніммен бірге қоспалардың (1,2-диацилгидразиндердің және циклды қосылыстардың) көп мөлшері түзіледі. Сонымен қатар, қолданылған еріткіштер өнімнің органолептикалық қасиеттерін нашарлатып, негізгі өнімді қосымша тазарту қажет болады.

Полимерлі ионалмастырғыш шайырларды карбон қышқылдарының гидразинолиз процесінде қолдану гидразидтер алудың болашағы зор әдісі болып табылады (Dzhumadullayeva, 2021: 4). Иониттер процесті жұмсақ жағдайларда жүргізуге мүмкіндік береді, жанама реакциялардың жүрмеуін, негізгі өнімдер шығымының едәуір жоғарылауын қамтамасыз етеді. Бірақ гидразинолиз реакциясында карбон қышқылдары құрылысының және қолданылатын ионитті катализаторлар табиғатының әсері жөнінде әдебиеттік мәліметтерде жеткілікті деректер келтірілмеген (Dzhumakaev, 1993: 3).

Бұл жұмыстың мақсаты құрылысы әртүрлі карбон қышқылдарының сулы гидразинмен ионитті катализаторлар қатысында әрекеттесу реакциясын зерттеу, сонымен қатар процестің оңтайлы жағдайларын анықтау және ИҚ-спектроскопиялық әдістің көмегімен реакция механизмі жөнінде болжамдар жасау болып табылады.

Материалдар және әдістер

Гидразидтерді синтездеу үшін химиялық таза карбон қышқылдары және тазалығы 99.9 мас.% тауарлы гидразингидрат қолданылды. Катализаторлар ретінде жоғары негізді анионит АВ-17–8 және күшті қышқылды сульфокатионит КУ-2–8 қолданылды, оларды жұмысқа дайындау және H^+ (OH^-) формаларға көшіру, иониттердің статикалық алмасу сыйымдылығын анықтау белгілі әдістер бойынша (GOST, 1998: 7; Polyansky, 1973: 213) жүзеге асырылды.

Гидразидтерді алудың жалпы әдістемесі

1 г карбон қышқылының 8-32 мл судағы ерітіндісіне (немесе бутил спиртін ерітіндісіне) 0,6–2,5 г гидразингидрат, 1–3 г ауада кептірілген анионит (немесе катионит) қосып, араластыра отырып, сулы моншада 2–3 сағат бойы 80–95°C температуралар интервалында қыздырады. Реакция аяқталғанда сулы фракцияны (немесе спиртті ерітіндіні) сүзу арқылы иониттен бөліп алып буландырады, алынған құрғақ қалдықты еріткішпен қайта кристалдайды.

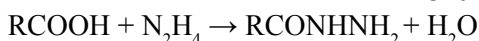
ИҚ-спектроскопиялық зерттеулер белгілі әдістеме бойынша жүргізілді (Little, 1969: 514). Гидразидтердің анализі фотоколориметриялық әдіспен (Korenman, 1975: 360) Флюорат-02-5М (ГК “Люмэкс”, Ресей) приборында орындалды. Бастапқы заттардың және реакция өнімдерінің ИҚ спектрлері Impact-410 (АҚШ) спектрометрінде 400–4000 cm^{-1} жиіліктер интервалында

алынды. Реакция өнімдерінің құрамы элементтік анализ негізінде анықталды. Элементтік анализ X-Calibur Xenometrix (Израиль) элементтік анализаторында жүргізілді.

Нәтижелер және оларды талқылау

Ионитті катализаторлар АВ-17–8 (ОН) және КУ-2–8 (Н) қатысында май қышқылы, пальмитин, олеин, қымыздық, малеин, бензой, қабық қышқылдары гидразингидратпен (ГГ) салыстырмалы жеңіл әрекеттесіп, өздеріне сәйкес гидразидтер түзеді (схема 2).


Схема 2



R= Pr, Me(CH₂)₁₃, Me(CH₂)₇CH=CH(CH₂)₇, COOH, HOOCCH=CH, Ph, PhCH=CH

Алынған гидразидтердің спектрлерінде гидразидті топтың –C(O)NHNH₂ сіңіру жолақтары ерекше нақты көрінеді. Синтезделген гидразидтердің ИҚ-спектрлік сипаттамалары 1-кестеде келтірілген.

Кесте 1– Алынған гидразидтердің ИҚ-спектроскопиялық мәліметтері

№	Карбон қышқылдарының гидразидтері	ИҚ-спектрлік мәліметтер
1	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CONHNH ₂	1689 (C=O), 2946-2863 (CH, CH ₂ , CH ₃), 1470-1351 (C-C), 3440, 1559 (NH)
2	CH ₃ (CH ₂) ₁₃ CONHNH ₂	1641, 1706 (C=O), 2959, 2927, 2849 (CH ₂ , CH ₃), 1274-1094 (C-C), 3433, 3220, 1509 (NH)
3	CH ₃ (CH ₂) ₇ CH=CH(CH ₂) ₇ CONHNH ₂	1699 (C=O), 1637 (CH=CH), 2957, 2915, 2848 (CH), 1100 (C-N), 3451, 3326, 3289 (NH), 980 (N-N)
4	NH ₂ NHOC-CONHNH ₂	1637, 1704 (C=O), 3118, 1488 (CH), 1174 (C-N), 3466, 3424 (NH)
5		1689 (C=O), 1600 (CH=CH), 2910, 2842, 1396, 1299 (CH), 1122 (C-N), 3414 (NH)
6	C ₆ H ₅ CONHNH ₂	1674, 1330 (C=O), 1600-1400 (C-C) _{Ar} , 3000-2800 (NH ₂), 3492, 3436, 1492, 1475, 1452 (NH)
7	C ₆ H ₅ CH=CHCONHNH ₂	1693 (C=O), 1541 (CH=CH), 3027 (C-H) _{Ar} , 1182 (C-N), 3340, 3210, (NH), 989 (N-N)

2-Кестеде көрсетілгендей, зерттелген карбон қышқылдарының (КК) гидразинолиз процесі салыстырмалы жұмсақ жағдайларда өтеді және реакцияның негізгі өнімдеріне қатысты жоғары селективтілікпен жүреді. Карбон қышқылдарының конверсиясы 86–94 %, гидразидтердің шығымы 68–90 % болды. Карбон қышқылдарының құрылысының реакцияның жүру барысына әсерін зерттеу мақсатында әртүрлі алифатты және ароматты монокарбон және кейбір дикарбон қышқылдарымен синтездер жүргізілді.

Электронакцептор орынбасушылары бар қышқылдарға (бензой қышқылы) қарағанда электрондонор орынбасушылары бар ароматты қышқылдармен (қабық қышқылы) реакциялар үлкен шығымдармен өтетіндігі анықталды. Алифатты май қышқылы үшін сәйкес гидразид шығымы төмен болды (68 %). Субстраттар ретінде жоғары карбон қышқылдарын қолданған жағдайда өнімнің ең жоғары шығымы пальмитин қышқылы үшін алынды (90 %), бірақ қанықпаған алкенил тобы бар олеин қышқылы үшін оған сәйкес гидразид шығымы 85 % болды. Зерттелген дикарбон қышқылдарының ішінде ең жақсы нәтижелер циклды гидразид түзген малеин қышқылы үшін алынды, ал қаныққан дикарбон қышқылы– қымыздық қышқылы жағдайында гидразид шығымы төмен екендігі (62 %) анықталды. Барлық зерттелген карбон қышқылдары үшін гидразиолиз реакциясын жүргізудің оңтайлы жағдайлары табылды (кесте 2).

Сонымен қатар, процестің жүруіне ионитті катализатордың (Кт) табиғатының әсері зерттелді. Пальмитин, олеин, бензой және қабық қышқылдарының гидразиолиз реакциясында ОН-формадағы анионит АВ-17–8, ал май қышқылы, малеин және қымыздық қышқылдары жағдайында Н-формадағы катионит КУ-2–8 жоғары каталиттік активтілік көрсететіндігі анықталды.

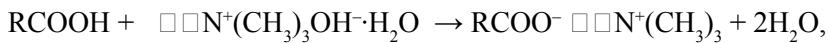
Кесте 2– Ионитті катализаторлар қатысында гидразидтерді синтездеу

Карбон қышқылы	Катализатор	Реакция жағдайлары КҚ: ГГ: Кт (масс.)	Карбон қышқылының конверсиясы, %	Гидразид шығымы, %
Май қышқылы	КУ-2-8 (Н)	1:0,6:1:0,67 C ₄ H ₉ ОН, 80°C, 3 сағ.	89	68
Пальмитин қышқылы	АВ-17-8 (ОН)	1:2,5 :3:8 H ₂ O, 95°C, 3 сағ.	92	90
Олеин қышқылы	АВ-17-8 (ОН)	1:0,72:2:32 H ₂ O, 90°C, 2 сағ.	90	85
Қымыздық қышқылы	КУ-2-8 (Н)	1:1,08:1:2,43 C ₄ H ₉ ОН, 95°C, 3 сағ.	86	62
Малеин қышқылы	КУ-2-8 (Н)	1:1,44:2:16 H ₂ O, 95°C, 2 сағ.	93	90
Бензой қышқылы	АВ-17-8 (ОН)	1:0,72:2:8 H ₂ O, 95°C, 3 сағ.	87	83
Қабық қышқылы	АВ-17-8 (ОН)	1:0,72:2:16 H ₂ O, 90°C, 2 сағ.	94	90

Карбон қышқылдарының гидразиолиз реакциясының механизмін анықтау үшін бастапқы заттардың, реакциялар өнімдерінің және қолданылған ионитті катализаторлардың ИҚ-спектроскопиялық зерттеулері жүргізілді. Әдебиеттік мәліметтер бойынша (Dzhumadullayeva, 2018: 4) карбон қышқылдарының АВ-17–8 анионитінде адсорбциялануы-нан кейін ИҚ спектрлерде адсорбцияланған молекулалардың ионалмастырғыш шайырдың

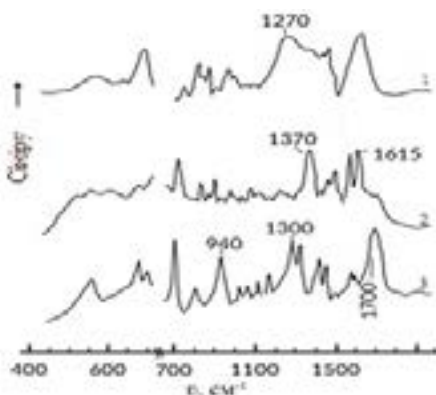
активті орталықтарымен әртүрлі агрегатты супрамолекулярлы комплекстері түзіледі деп болжауға болады (схема 3):

Схема 3



мұнда $\square\square N^+(CH_3)_3 OH^-$ – полимерлі байланысқан төртіншілік аммоний ионы және гидроксил ионы, олар АВ-17-8 (ОН) анионитінің каталиттік активті орталықтары

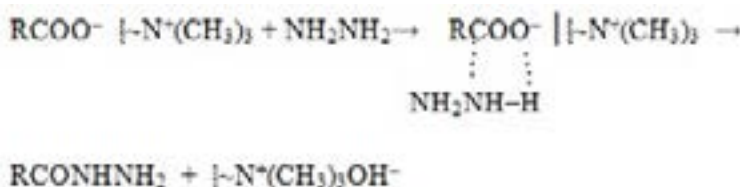
Органикалық қышқылдың адсорбциялануынан кейін аниониттің спектрінде карбоксилат анионның $RCOO^-$ (Little, 1969: 540; Dzhumadullayeva, 2013: 3) симметриялы және антисимметриялы валенттік тербелістеріне сәйкес сіңіру жолақтары байқалады. Айталық, бензой қышқылының АВ-17–8 (ОН) анионитімен әрекеттесу өнімінің ИҚ спектрінде $COOH$ тобының валенттік және деформациялық тербелістеріне жататын сіңіру жолақтары пайда болмады, оның орнына аниониттің жолақтарымен бірге жиілігі 1370 және 1615 cm^{-1} $RCOO^-$ тобының интенсивті сіңіру жолақтары байқалады (сурет 1).



Сурет 1-АВ-17–8 (ОН) анионитінің (1), бензой қышқылының (3) және оның анионитпен әрекеттесу өнімінің (2) ИҚ спектрлері

Осыған байланысты, карбоксилат-анионның катализатормен комплексі гидразин әсерінен ыдырап, гидразид түзіледі және аниониттің активті орталықтары қайтадан қалпына келеді деп болжауға болады (схема 4):

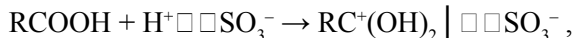
Схема 4



Осыған ұқсас адсорбциялық комплекстердің фазааралық катализ жағдайларында түзілуінің дәлелдері әртүрлі кетондардың сулы ортада төртіншілік аммоний тұздары қатысында алкилденуін (Yuufit, 1987: 3; Dermeik, 1985: 7), олеин қышқылының гидразинолиз реакциясының кинетикасын АВ-17-8 (ОН) аниониті қатысында (Dzhumadullaeva, 2019: 3) зерттегенде анықталды.

Әдебиеттік мәліметтерді ескере отырып (Tsendel, 1972: 406; Selemenev, 2020: 14), май қышқылының, қымыздық және малеин қышқылдарының КУ-2-8 (Н) катиониті қатысында гидразинолизінің механизмі катиониттегі фазалар бөліну шекарасы арқылы протондар тасымалдануына негізделген деп болжауға болады. Карбон қышқылы катионитке адсорбцияланғанда сульфоқышқылды топтар арасындағы көпірлік Н-байланыстар үзіледі, протондар карбонил тобына қосылып, ОН-тобы түзіледі, сульфотоптар мына түрде $RC^+(OH)_2 | \square\square SO_3^-$ қоршалады (схема 5):

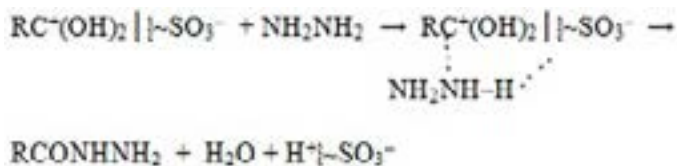
Схема 5



мұнда $H^+ \square\square SO_3^-$ — бекітілген полимерлі байланысқан сульфоний иондары мен сутегі иондары, олар КУ-2-8 (Н) катионитінің каталиттік активті орталықтары (Tsendel, 1972: 406; Semushin, 1980: 96).

Гидразиннің азот атомының оң зарядталған көміртегі атомын нуклеофилді шабуылдауынан катионит бетінде адсорбциялық комплекс түзіледі. Ол NH_2 -топтан полимерлі байланысқан сульфотопқа протонның тасымалдануы нәтижесінде ыдырап, дегидратациядан кейін гидразид түзіледі және катиониттің активті орталықтары қайта қалпына келеді (схема 6):

Схема 6



Май қышқылының, малеин және қымыздық қышқылдарының КУ-2-8 (Н) катионитімен әрекеттесу өнімінің ИҚ спектрінде карбоксил тобының интенсивті сіңіру жолақтары байқалмайды, оның орнына жиілігі 1622 см^{-1} интенсивті сіңіру жолағы пайда болды, ол гидразидтің карбонил тобының валенттік тербелістеріне сәйкес келеді. Сонымен қатар, катиониттің жолақтарымен бірге жиілігі $1400\text{--}1500\text{ см}^{-1}$ және бірнеше жолақтар $2400\text{--}3200\text{ см}^{-1}$ аумағында пайда болды, олар түзілген адсорбциялық комплекстің симметриялы және антисимметриялы тербелістеріне (Semushin, 1980: 96) жатады деп болжауға болады.

Осыған ұқсас адсорбциялық комплекстер катиониттің сульфо тобымен аммоний ионы арасында бензамидтің этерификациясы және гидролизі кезінде анықталған (Dzhumakaev, 1993: 3). Келтірілген ИҚ-спектроскопиялық зерттеулер нәтижелері кинетикалық мәліметтермен де жақсы үйлеседі (Dzhumadullayeva, 2021: 4).

Қорытынды. Сонымен, алғашқы рет құрылысы әртүрлі карбон қышқылдарының гидразинолиз реакциясы ионалмастырғыш шайырлар АВ-17–8 (ОН) және КУ–2–8 (Н) қатысында зерттелді, процестің оңтайлы жағдайлары анықталды және ИҚ-спектроскопиялық зерттеулер негізінде каталиттік активті орталықтардың қатысуымен жүзеге асатын реакция механизмі ұсынылды. Бұл жұмыстың практикалық маңыздылығы карбон қышқылдарының гидразидтерін алудың қолайлы және тиімді әдістерін ойластыру болып табылады.

REFERENCES

Chrissie A.C., James A.K., Neil P.J.P., 2010 — *Chrissie A.C., James A.K., Neil P.J.P.* Preparation of saturated and unsaturated fatty acid hydrazides and long chain C-glycoside ketohydrazones, *Green Chemistry*, 12: 2012–2018. <https://doi.org/10.1039/C0GC00372G> (in Eng.).

Dermeik S., Sasson Y., 1985 — *Dermeik S., Sasson Y.* Effect of water on the extraction and reactions of fluoride anion by quaternary ammonium phase transfer catalysts, *J. Org. Chem.*, 6: 872–879 (in Eng.).

Drozdetzky A.G., Radushev A.V., Turbin A.S., et. al., 2000 — *Drozdetzky A.G., Radushev A.V., Turbin A.S., et. al.* The method of obtaining hydrazides of aliphatic carboxylic acids and their mixtures [Sposob polucheniya gidrazidov alifaticeskikh karbonovykh kislot i ikh smesey]. Patent №2147020 Russian Federation [Patent Rossiyskoy Federatsii] (in Russ.).

Dzhumadullayeva S.A., Bayeshov A.B., Altynbekova M.O., Abzhalov B.S., 2018 — *Dzhumadullayeva S.A., Bayeshov A.B., Altynbekova M.O., Abzhalov B.S.* Supramolecular complexes of ionites with organic substrates, *News of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series Chemistry and Technology*, 2: 26–30. <https://doi.org/10.32014/2018.2518-1491> (in Eng.).

Dzhumadullaeva S.A., Altynbekova M.O., 2013 — *Dzhumadullaeva S.A., Altynbekova M.O.* A Mechanism for the Hydrazinolysis of Benzoic Acid in the Presence of Ion-exchange Catalyst, *Russian Journal of Physical Chemistry A.*, 11:1943–1945. <https://doi.org/10.1134/S0036024413110083> (in Eng.).

Dzhumakaev K.Kh., May I.I., Bekova N.S., 1993 — *Dzhumakaev K.Kh., May I.I., Bekova N.S.* Structure and catalytic properties of the KU-2-8 cation exchanger in ammonium forms. *Journal of Physical Chemistry [Zhurnal fizicheskoy khimii]* 8: 1711–1713 (in Russ.).

Dzhumadullaeva S.A., Baeshov A.B., 2019 — *Dzhumadullaeva S.A., Baeshov A.B.* Study of kinetics and mechanism of heterogeneous catalytic hydrazinolysis of oleic acid, *Russ. J. Gen. Chem.* 89: 190–193. <https://doi.org/10.1134/S1070363219020038> (in Eng.).

Dzhumadullayeva S.A., Bayeshov A.B., Kolesnikov A.V., 2021 — *Dzhumadullayeva S.A., Bayeshov A.B., Kolesnikov A.V.* The kinetics of selective hydrazinolysis of maleic acid on the acid catalyst, *News of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series Chemistry and Technology*, 2: 53–57. <https://doi.org/10.32014/2021.2518-1491.26> (in Eng.).

Eckart W.S., 2001 — *Eckart W.S.* Hydrazin and its derivatives: preparation, properties, applications. Jhon Wiley& Sons, New York. ISBN: 978-0-471-41553-4 (in Eng.).

GOST 10896–7, 1998 — Ionites. Preparation for the test [Ionity. Podgotovka k ispytaniyu] М.: Izdatelstvo standartov, 7 s. (in Russ.).

Korenman I.M., 1975 — *Korenman I.M.* Photometric Analysis. Methods for analysis of organic compounds. М.: Himiya, ISBN: 978-5-458-45520-6 (in Russ.).

Little L., 1969 — *Little L.* Infrared Spectra of Adsorbed Molecules. London: Academic, 540 p. (in Eng.).

Polyansky N.G., 1973 — *Polyansky N.G.* Catalysis by ion exchangers [Kataliz ionitami] M.:Himiya. 213 s. (in Russ.).

Saha A., Kumar R., Devakumar C., 2010 — *Saha A., Kumar R., Devakumar C.* Development and assessment of green synthesis of hydrazides, Indian Journal of Chemistry, 49B: 526–531 (in Eng.).

Selemenev V.F., Rudakov O.B., Mironenko N.V., Karpov S.I., Semenov V.N. et al., 2020 — *Selemenev V.F., Rudakov O.B., Mironenko N.V., Karpov S.I., Semenov V.N. et al.* Hydration and intermolecular interactions in carboxylic acids. Condensed media and interphase boundaries, [Kondensirovannyye sredy i mezhfaznyye granitsy] 3: 373–387 (in Russ.).

Semushin A.M., Yakovlev V.A., Ivanova E.V., 1980 — *Semushin A.M., Yakovlev V.A., Ivanova E.V.* Infrared absorption spectra of ion-exchange materials [Infrakrasnyye spektry pogloshcheniya ionoobmennyykh materialov] L.: Himiya, Leningradskoe otdelenie. 96 s. (in Russ.).

Tsundel G., 1972 — *Tsundel G.* Hydration and intermolecular interaction. Investigation of polyelectrolytes by infrared spectroscopy [Gidratatsiya i mezhmolekulyarnoye vzaimodeystviye. Issledovaniye polielektrolitov metodom infrakrasnoy spektroskopii] M.: Mir, 406 s. (in Russ.).

Yuufit S.S., Esikova A.I., Danilova O.I., 1982 — *Yuufit S.S., Esikova A.I., Danilova O.I.* Mechanism of the alkylation reaction in the presence of solid carbonates and quaternary ammonium salts, Dokl. Akad. Nauk SSSR, 3: 358–361 (in Russ.).

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC
OF KAZAKHSTAN

ISSN 2224-5227

Volume 345, Number 1 (2023), 254–264

<https://doi.org/10.32014/2023.2518-1483.199>

UDC 637.3.071

© **M.M. Zinalieva¹, Z.Zh. Seidakhmetova^{1*}, E.K. Assembayeva¹,
D.E. Nurmukhanbetova², A.N. Aralbaeva³, 2023**

¹Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan;

²Narxoz University, Almaty, Kazakhstan;

³Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: s.zaure@bk.ru

THE STUDY OF THE BIOLOGICAL VALUE OF CURD CHEESES ENRICHED WITH HERBAL SUPPLEMENTS

Zinaliyeva Mariya Marlenkyzy — master's student, 2nd year. Almaty Technological University. Department of Food Biotechnology. Almaty, Kazakhstan

E-mail: omar.mashulya@mail.ru. ORCID: 0000-0001-5393-5908;

Seidakhmetova Zauze Zhunusovna — doctor of biological sciences. Almaty Technological University. Department of Food Biotechnology. Almaty, Kazakhstan

E-mail: s.zaure@bk.ru. ORCID: 0000-0002-9213-7391;

Assembayeva Elmira Kuandykovna — PhD. Almaty Technological University. Department of Food Biotechnology. Almaty, Kazakhstan

E-mail: elmiraasembaeva@mail.ru. ORCID: 0000-0001-7964-7736;

Nurmukhanbetova Dinara Erikovna — candidate of Technical Sciences. Narxoz University, Almaty, Kazakhstan

E-mail: dinara.nurmukhanbetova@narxoz.kz. ORCID: 0000-0002-8939-6325;

Aralbaeva Arailym Nugmanovna — candidate of biological science. Al Farabi Kazakh National University. Almaty, Kazakhstan

E-mail: aray3005@mail.ru. ORCID: 0000-0003-4610-4342.

Abstract. Currently, the issue of healthy nutrition is relevant, in particular, the creation of functional products. Such products should include functional ingredients that play a role in living organisms. In this paper, we consider the possibility of making functional curd cheeses by adding dry powders of rose hips and nettle leaves, which are sources of vitamin C. The choice of herbal supplements is primarily determined by giving the curd cheese the necessary taste characteristics. When choosing ingredients, we were also guided by the fact that they are natural and have beneficial properties for the human body. Two samples of curd cheeses containing vegetable raw materials, which are a source of vitamin C, were taken. The best way to introduce raw materials of plant origin is to introduce them in the form of a powder at the curd cheese ripening stage. This allows you to maintain the acidity of whey at the required level, so that the resulting products are of high quality. Tasting

of each sample of a curd cheese was carried out to assess the organoleptic quality indicators. The highest score was given to a sample of cheese with rosehip powder, from 24.8 out of 25 points. Thus, the use of crushed rosehip berries and nettle leaf powder makes it possible to obtain high-quality types of curd cheese with a high biological value.

Keywords: curd cheese, rose hips, nettle leaves, vitamin C, biological value

© **М.М. Зиналиева¹, З.Ж. Сейдахметова^{1*}, Э.К. Асембаева¹,
Д.Е. Нурмуханбетова², А.Н. Аралбаева³, 2023**

¹Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан;

²Нархоз Университеті, Алматы, Қазақстан;

³Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: s.zaure@bk.ru

ӨСІМДІК ТЕКТІ ҚОСПАЛАРМЕН БАЙТЫЛҒАН СҮЗБЕ ІРІМШКТЕРДІҢ БИОЛОГИЯЛЫҚ ҚҰНДЫЛЫҒЫН ЗЕРТТЕУ

Зиналиева Мария Марленқызы — магистрант, 2 курс. Алматы технологиялық университеті. «Тағамдық биотехнология» кафедрасы. Алматы, Қазақстан

E-mail: omar.mashulya@mail.ru. ORCID: 0000-0001-5393-5908;

Сейдахметова Зауре Жунусовна — биология ғылымдарының докторы. Алматы технологиялық университеті. «Тағамдық биотехнология» кафедрасы. Алматы, Қазақстан

E-mail: s.zaure@bk.ru. ORCID: 0000-0002-9213-7391;

Асембаева Эльмира Куандыковна — PhD. Алматы технологиялық университеті. «Тағамдық биотехнология» кафедрасы. Алматы, Қазақстан

E-mail: elmiraasembaeva@mail.ru. ORCID: 0000-0001-7964-7736;

Нурмуханбетова Динара Ериковна — техника ғылымдарының кандидаты. Нархоз университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: dinara.nurmukhanbetova@narхоз.kz. ORCID: 0000-0002-8939-6325;

Аралбаева Арайлым Нугмановна — биология ғылымдарының кандидаты. Әл Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті. Алматы, Қазақстан

E-mail: aray3005@mail.ru. ORCID: 0000-0003-4610-4342.

Аннотация. Қазіргі уақытта дұрыс тамақтану мәселесі өзекті болып табылады, атап айтқанда функционалды тағамдарды жасау. Мұндай өнімдердің құрамына тірі организмдерде белгілі бір рөл атқаратын функционалды ингредиенттер кіруі керек. Бұл жұмыста біз С витаминінің көзі болып табылатын итмұрын жемісі және қалақай жапырағының кептірілген ұнтақтарын қосу арқылы функционалды сүзбе ірімшік жасау мүмкіндігін қарастырамыз. Өсімдік қоспаларын таңдау, ең алдымен, сүзбе ірімшікке қажетті дәм сипаттамаларын беру арқылы анықталады. Ингредиенттерді таңдағанда, біз сондай-ақ олар табиғи және адам ағзасына пайдалы қасиеттерге ие болатындығын басшылыққа алдық. Құрамында С витаминінің көзі болып табылатын өсімдік шикізаты бар екі сүзбе ірімшік үлгісі алынды. Өсімдік текті шикізатты енгізудің ең жақсы тәсілі ірімшіктің түзілу кезеңінде оларды ұнтақ түрінде енгізу болып табылады. Бұл сарысудың қышқылдығын

қажетті деңгейде ұстауға мүмкіндік береді, соның арқасында алынған өнімдер жоғары сапалы болады. Әрбір ірімшік үлгісі үшін органолептикалық сапа көрсеткіштерін бағалау үшін дегустация жүргізілді. Ең жоғары баға итмұрын жидегінің ұнтағы қосылған ірімшік үлгісіне берілді. Барлығы 25 ұпайдан 24,8-ге бағаланды. Осылайша, итмұрынның ұнтақ жидектерін және қалақай жапырағының ұнтақтарын пайдалану жоғары сапалы биологиялық құндылығы жоғары сүзбе ірімшік түрлерін алуға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: сүзбе ірімшік, итмұрын жидегі, қалақай жапырағы, С витамині, биологиялық құндылық

© М.М. Зиналиева¹, З.Ж. Сейдахметова^{1*}, Э.К. Асембаева¹,
Д.Е. Нурмуханбетова², А.Н. Аралбаева³, 2023

¹Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан;

²Университет Нархоз, Алматы, Казахстан;

³Казахский Национальный университет им. аль-Фараби,
Алматы, Казахстан.

E-mail: s.zaure@bk.ru

ИЗУЧЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ ТВОРОЖНЫХ СЫРОВ, ОБОГАЩЕННЫХ РАСТИТЕЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ

Зиналиева Мария Марленкызы — магистрант, 2 курс. Алматинский технологический университет, кафедра «Пищевая биотехнология». Алматы, Казахстан

E-mail: omar.mashulya@mail.ru. ORCID: 0000-0001-5393-5908;

Сейдахметова Зауре Жунусовна — доктор биологических наук. Алматинский технологический университет, кафедра «Пищевая биотехнология». Алматы, Казахстан

E-mail: s.zaure@bk.ru. ORCID: 0000-0002-9213-7391;

Асембаева Эльмира Куандыковна — PhD. Алматинский технологический университет, кафедра «Пищевая биотехнология». Алматы, Казахстан

E-mail: elmiraasembaeva@mail.ru. ORCID: 0000-0001-7964-7736;

Нурмуханбетова Динара Ериковна — кандидат технических наук. Университет Нархоз, Алматы, Казахстан.

E-mail: dinara.nurmukhanbetova@narхоз.kz. ORCID: 0000-0002-8939-6325;

Аралбаева Арайлым Нугмановна — кандидат биологических наук. Казахский национальный университет имени аль-Фараби. Алматы, Казахстан

E-mail: aray3005@mail.ru. ORCID: 0000-0003-4610-4342.

Аннотация. В настоящее время актуален вопрос здорового питания, в частности создание продуктов функционального назначения. Такие продукты должны включать функциональные ингредиенты, играющие определенную роль в живых организмах. В данной работе рассматривается возможность изготовления функциональных творожных сыров путем добавления сухих порошков плодов шиповника и листьев крапивы, являющихся источниками витамина С. Выбор растительных добавок в первую очередь определяется приданием творожному сыру необходимых вкусовых характеристик. При выборе ингредиентов мы также руководствовались тем, что они натуральные

и обладают полезными свойствами для организма человека. Были взяты два образца творожных сыров, содержащих растительное сырье, являющиеся источником витамина С. Наилучший способ введения сырья растительного происхождения — это введение его в виде порошка на стадии образования творожного сыра. Это позволяет поддерживать кислотность сыворотки на необходимом уровне, благодаря чему получаемая продукция отличается высоким качеством. Для каждого образца творожного сыра была проведена дегустация для оценки органолептических показателей качества. Самый высокий балл получил образец сыра с порошком ягоды шиповника, от 24,8 из 25 баллов. Таким образом, использование измельченных ягод шиповника и порошка из листьев крапивы позволяет получать качественные виды творожного сыра с высокой биологической ценностью.

Ключевые слова: творожный сыр, ягоды шиповника, листья крапивы, витамин С, биологическая ценность

Кіріспе

Салауатты тамақтану саласындағы мемлекеттік саясаттың негізгі бағыттарының бірі — ауыл шаруашылығы шикізатын қайта өңдеудің биотехнологиялық процестеріне, тағамдық және биологиялық құндылығы жоғары сапалы жаңа тамақ өнімдерін өндіру технологияларын құруға көңіл бөлу.

Азық-түлік өнімдерінің алуан түрлілігі арасында ірімшіктер жетекші орындардың бірін алады. Дүниежүзілік тамақтану ғылымы ірімшікті жоғары қоректік, биологиялық толық, оңай сіңетін өнім ретінде таниды. Ол адам рационының ауыстырылмайтын және міндетті құрамдас бөлігі болып табылады. Ірімшіктер адам ағзасына жақсы сіңеді және жоғары энергетикалық құндылыққа ие. Бірегей құрамға ие бола отырып, олар ағзаны ақуыздармен, көмірсулармен, липидтермен, минералдармен, витаминдермен, микроэлементтермен және басқа да тіршілік үшін маңызды заттармен қамтамасыз етеді. Оның құрамындағы май эмульсияланған күйде, бұл оны жоғары сіңімді етеді. Ірімшік – кальций мен фосфордың ең бай көзі (Киртаева и др., 2019; Остроумов и др., 2015).

Соңғы жылдары азық-түлік өндірісінде тағам өнімдерін өсімдік тектес әртүрлі биологиялық белсенді заттармен байыту өзекті, үлкен қызығушылық тудырады, өйткені әлемде салауатты өмір салтын сақтау мен табиғи компоненттерді тұтынудың айқын тенденциясы байқалады (Винницкая и др. 2013).

Қазіргі уақытта адамдарда С витаминінің жетіспеушілігі белгілі, ол көптеген зерттеулермен дәлелденген, адам ағзасының жұқпалы ауруларға төзімділігін арттыратын антиденелер синтезін белсенді түрде ынталандырады. Аскорбин қышқылы ағзада өндірілмейді, ол оған тамақпен немесе витаминдік препараттарды қабылдаумен келеді (Тимирханова и др., 2007).

Итмұрын мен қалақай осы мақсаттарға өте қолайлы өсімдік текті

заттарға жатады. Итмұрын жидегі құрамында С, Р, К витаминдері, рутин, каротиноидтар, катехиндер, флавоноидтар, эфир майы, қант, тағамдық талшық болады. Жидегінде калий, кальций, темір, марганец, фосфор, магний ал дәнінің майында Е витамині, каротин, линол, линолен қышқылдары бар. Халық медицинасында итмұрын гиповитаминозға қарсы, өт айдағыш, ағзаны нығайтқыш, тыныштандырғыш және адаптогендік агент ретінде, қан аздық жүйке жүйесі, бауыр ауруларында, радионуклидтердің ағздан шығарылуын жеделдету үшін қолданылады (Ламан и др., 2017; Баймуродов и др., 2017; Винницкая и др., 2019).

Қалақай – құнды мультивитаминді өсімдік, витаминдердің табиғи концентратының бір түрі. Ондағы аскорбин қышқылы қарақат пен лимон жемістерінен екі есе көп, каротин мөлшері теңіз шырғанақ жидектеріне, сәбізге және қымыздыққа қарағанда жоғары. Ал қалақайдың 20 жапырағы ғана ағзамызды А витаминінің күнделікті қабылдауын қамтамасыз етеді. Сонымен қатар қалақай К, Е және В витаминдері мен минералдарға бай: темір, магний, мыс, кальций және т.б. Қалақай жапырақтарында сонымен қатар флаваноидтар, таниндер, фитонцидтер, органикалық қышқылдар, хлорофилл, гликозидтер және т.б. кездеседі. Биологиялық белсенді элементтердің мұндай бай жиынтығы қалақайдың емдік қасиеттерінің кең ауқымын түсіндіреді. Қалақай өмірлік маңызды мүшелердің қызметін қалпына келтіруге және тұтастай алғанда ағзаның жұмысын қалыпқа келтіруге мүмкіндік береді (Саженова, 2017; Пецуха и др., 2008; Кирилук и др., 2020).

Бұл жұмыстың мақсаты жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, өсімдік текті қоспалармен байытылған сүзбе ірімшіктің биологиялық құндылығын зерттеу. Сүзбе ірімшіктің сапасын жақсарту, оның тағамдық және биологиялық құндылығын арттыру, сондай-ақ оған емдік-профилактикалық қасиеттер беру үшін өнімге құрамында витаминдер, сондай-ақ макроэлементтер мен микроэлементтер бар өсімдік шикізаты енгізіледі.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Зерттеу нысаны ретінде сиыр сүті, тұздалған жұмсақ ірімшік дайындауға арналған «VIVO» (Украина) ұйытқысы, «Зерде-Фито» ЖШС дайындалған құрғақ итмұрын жидегінің ұнтағы мен қалақай жапырақтарының ұнтақтары алынды.

Бұл ұйытқыдан брынза және Фета сияқты үй ірімшіктерін жасауға болады. Бұл ұйытқының ерекшеліктерінің бірі — бір пакетте фермент пен бактерия дақылдарының болуы. Бұл ірімшіктерді жасау процесін айтарлықтай жеңілдетеді, өйткені фермент пен ұйытқыны бөлек сатып алудың қажеті жоқ, сонымен қатар әрқайсысын бөлек өлшегеннен гөрі барлық компоненттерді бір уақытта дұрыс концентрацияда қосу жеңілірек.

«Зерде-Фито» ЖШС фитоөнім өндірумен айналысатын Орталық Азия аймағындағы ірі компания. Бүгінгі таңда компания нарықтың 80 %-дан астамын алып, Қазақстандық дәрілік өсімдік препараттарын өндірушілер арасында көшбасшы орынға ие.

Компанияның ассортиментінде 280–ден астам өнім түрі бар, жыл сайын 1000 тоннадан астам дәрілік-өсімдік шикізаты өңделеді.

Зертхана жағдайында қоспасыз (бақылау үлгісі), 12 % қалақай жапырағы қосылған, 20 % итмұрын жидегінің ұнтағы қосылған сүзбе ірімшік үлгілері дайындалды.

Ірімшік үлгілеріне талдау жұмыстары Алматы технологиялық университетінің «Тағамдық биотехнология» және «Тамақ қауіпсіздігі» ғылыми зерттеу институтының зертханаларында жүргізілді және келесі кезеңдерден тұрды: шикізатты таңдау және дайындау, тәжірибелік үлгілерді әзірлеу, алынған өнімнің сапасын бағалау үшін органолептикалық және физика-химиялық зерттеулер жүргізу.

Сүзбе ірімшік өндіру үшін негізгі шикізат сиыр сүті болып табылады. Сүт сапасын КО ТР 033/2013 «Сүт және сүт өнімдерінің қауіпсіздігі туралы» және МЕМСТ 52054–2003 «Шикі сиыр сүті. Техникалық шарттар» сәйкес бағаладық (ГОСТ 31449–2018; ТР ТС 033/2013).

Сүзбе ірімшік үлгілерінің сапа көрсеткіштері мен химиялық құрамы келесі әдістермен зерттелді:

– дайын өнімнің минералдық құрамы (калий, натрий, кальций, магний, фосфор, темір) атомдық абсорбциялық спектрометр көмегімен (ГОСТ 32343–2013, 2014);

– майда еритін А, Е витаминдері МЕМСТ 32043–2012 кері фазалық жоғары тиімді сұйық хроматография әдісімен (ГОСТ 32043–2012, 2020).

– суда еритін С, В₉, витаминдерінің мөлшерін капиллярлық электрофорез арқылы «Капель-105М» жүйесін пайдалана отырып М-04-41-2005 әдістемесінің көмегімен анықталды.

Қоспасыз және байытылған сүзбе ірімшік үлгілеріне дегустациялық органолептикалық бағасы әзірленген 25 балдық шкала бойынша жүргізілді, оған бірыңғай сапа көрсеткіштері кіреді: дәмі, иісі, түсі, сыртқы түрі және консистенциясы.

Зерттеу жұмыстары тәжірибелерді 5–7 рет қайталана отырып орындалды, нәтижелердің орташа арифметикалық мәндері алынды.

Зерттеу нәтижелері және оны талдау

Ірімшік өндірісінің шешуші факторлары өңделетін сүттің химиялық құрамы, физикалық қасиеттері және микробиологиялық көрсеткіштері болып табылады. Бұл факторлар сүттің ірімшік алуға жарамдылығын анықтайды, яғни оның коагуляцияға қабілеттілігі, тиісті тығыздықтағы ұйынды түзу, сондай-ақ пайдалы микроорганизмдердің және ең алдымен сүтқышқылды бактериялардың дамуы мен белсенділігі үшін қажетті ортаны құру қабілеті. Сүзбе ірімшік өндіруге арналған шикізат – сүт белгіленген сапа стандарттарына сәйкес келді.

Зерттеудің бастапқы кезеңінде сүзбе ірімшікке органолептикалық бағалау жүргізілді. Талдау барлық зерттелген үлгілердің сапаға сәйкес келетінін көрсетті: сыртқы түрі осы өнімнің түріне сәйкес келеді, атап айтқанда:

паста тәрізді, біртекті масса (қоспасыз, кептірілген итмұрын жидегі ұнтағы мен қалақай жапырағы ұнтағы қосылған тәжірибелік үлгілерде). Барлық үлгілердегі ірімшіктің консистенциясы жұмсақ, нәзік, пластикалық, жағылғыш. Дәмі — таза, сүтқышқылды, жетілмеген жұмсақ ірімшіктерге тән (қоспасыз, кептірілген итмұрын жидегі ұнтағы мен қалақай жапырағы ұнтағы қосылған тәжірибелік үлгілерде). Түсі — ақтан кремді сары түске дейін болды.

Сүзбе ірімшік үлгілерінің органолептикалық көрсеткіштерін дегустациялық бағалау нәтижелері 1-кестеде көрсетілген.

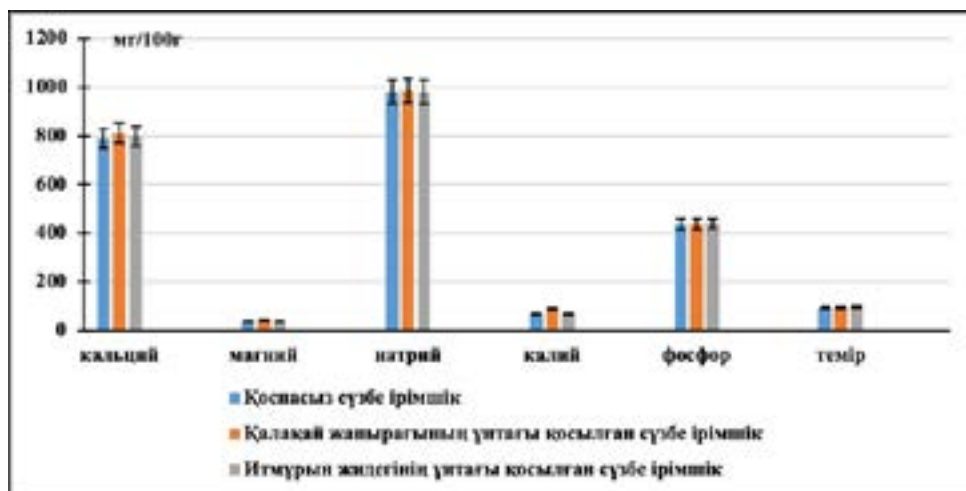
Кесте 1. Сүзбе ірімшік үлгілерін дегустациялық бағалау нәтижесі

Сүзбе ірімшік үлгілері	Сапа көрсеткіштері					Балл қосындысы
	дәмі	иісі	түсі	сыртқы түрі	консистенциясы	
Сүзбе ірімшік (бақылау үлгісі)	4,4	5,0	5,0	5,0	5,0	24,4
Қалақай жапырағының ұнтағы қосылған сүзбе ірімшік (12 %)	4,6	5,0	5,0	5,0	5,0	24,6
Итмұрын жидегінің ұнтағы қосылған сүзбе ірімшік (20 %)	4,8	5,0	5,0	5,0	5,0	24,8

Барлық сүзбе ірімшік үлгілері органолептикалық көрсеткіштер бойынша ең жоғары баллды көрсетті: сүзбе ірімшік (бақылау) – 24,4 балл, қалақай жапырағының ұнтағы қосылған сүзбе ірімшік (12 %) – 24,6 балл, итмұрын жемісінің ұнтағы қосылған сүзбе ірімшік (20 %) – 24,8 балл құрады. Өсімдік қоспаларымен байтылған сүзбе ірімшік үлгілерінің органолептикалық көрсеткіштері мәні бақылау үлгісінен (0,2–0,4 балл) сәл жоғары болып шықты. Өзірленген өнім өнімнің осы түріне қолданыстағы нормативтік-техникалық құжаттамаға сәйкес келетін жоғары органолептикалық көрсеткіштермен ерекшеленді.

Зерттеудің келесі кезеңінде дайын өнімнің биологиялық құндылығын анықтау мақсатында сүзбе ірімшік үлгілерінің витаминдік және минералдық құрамына талдау жүргізілді. Жұмыс барысында сүзбе ірімшігінің рецептурасына қалақай жапырағының ұнтағы мен итмұрын жидегінің ұнтағы енгізілгенде витаминдердің, минералды заттардың, сондай-ақ калий, кальций, магний, натрий, фосфор, темір сияқты макроэлементтер және микроэлементтердің мөлшері артатыны анықталды. Сүзбе ірімшіктің жаңа түрлері витаминдердің, микроэлементтер және макроэлементтердің жоғары мөлшерде болуымен ерекшеленеді.

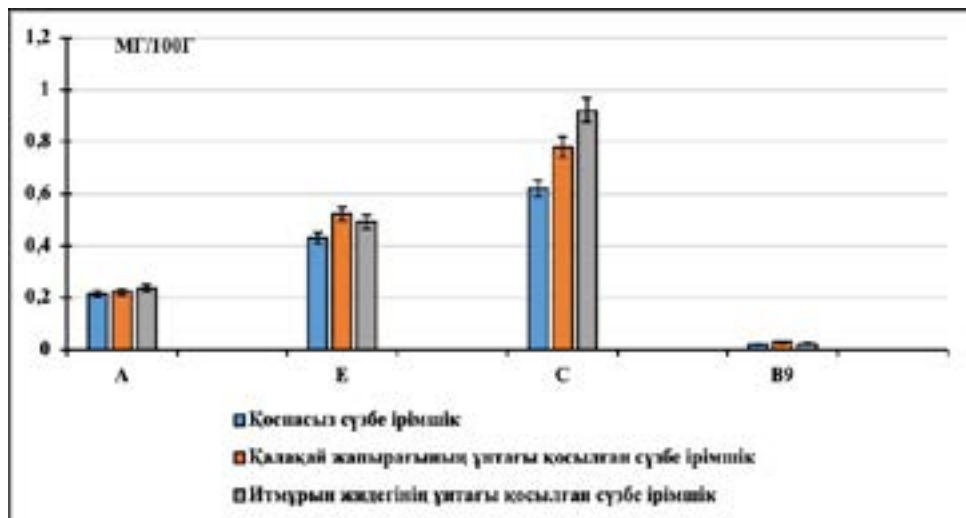
Сүзбе ірімшік үлгілерінің минералдық құрамына жүргізілген талдау нәтижесі төмендегі суретте келтірілген (1–сурет).



Сур. 1. Сүзбе ірімшік үлгілерінің минералдық құрамы
(Fig. 1. Mineral composition of curd cheese samples)

Суреттегі алынған нәтижелерден қоспасыз сүзбе ірімшікте кальций – 788,16±2,43 мг/100г, магний – 37,43±0,62 мг/100г, натрий – 981,75±2,45 мг/100г, калий – 68,81±0,91 мг/100г, фосфор – 435,43±2,01 мг/100г, темір – 92±0,002 мг/100г; қалақай жапырағының ұнтағы қосылған сүзбе ірімшікте кальций – 812,51±2,19 мг/100г, магний – 43,95±0,85 мг/100г, натрий – 983,51±2,91 мг/100г, калий – 90,12±0,87 мг/100г, фосфор – 438,18±2,05 мг/100г, темір – 93±0,003 мг/100г; итмұрын жидегінің ұнтағы қосылған сүзбе ірімшікте кальций – 797,12±2,12 мг/100г, магний – 39,41±0,26 мг/100г, натрий – 982,00±2,10 мг/100г, калий – 68,82±0,27 мг/100г, фосфор – 439,52±2,01 мг/100г, темір – 97±0,002 мг/100г. болды. Қоспасыз сүзбе ірімшікке қарағанда өсімдік текті қоспалармен сүзбе ірімшікті байытқанда минералды заттардың мөлшері өсімдікті текті заттардың есебінен өсетінін көрсетті.

Сүзбе ірімшік үлгілерінің витаминдік құрамына (А, Е, С, В₉) жүргізілген талдау нәтижесі төмендегі суретте келтірілген (2-сурет).



Сур. 2. Сүзбе ірімшік үлгілерінің витаминдік құрамы
(Fig. 1. Vitamin composition of cheese beer samples)

Суреттегі алынған нәтижелерден коспасыз сүзбе ірімшікте А витамині – $0,216,16 \pm 0,005$ мг/100г, Е витамині – $0,43 \pm 0,006$ мг/100г, С витамині – $0,62 \pm 0,21$ мг/100г, В₉ – $0,022 \pm 0,004$ мг/100г; қалақай жапырағының ұнтағы қосылған сүзбе ірімшікте А витамині – $0,222,16 \pm 0,006$ мг/100г, Е витамині – $0,52 \pm 0,008$ мг/100г, С витамині – $0,78 \pm 0,32$ мг/100г, В₉ – $0,029 \pm 0,004$ мг/100г; итмұрын жидегінің ұнтағы қосылған сүзбе ірімшікте А витамині – $0,237,16 \pm 0,06$ мг/100г, Е витамині – $0,49 \pm 0,08$ мг/100г, С витамині – $0,92 \pm 0,04$ мг/100г, В₉ – $0,023 \pm 0,005$ мг/100г. болды.

Қорытынды. Қорыта келгенде, бұл алынған сүзбе ірімшіктердің маңыздылығы енгізілген өсімдік текті қоспалар мен олардың пайдалы қасиеттеріне байланысты оның емдік-профилактикалық қасиеттерінде, сондай-ақ жоғары ақуызды функционалды өнімдердің ассортиментін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Сүзбе ірімшік, басқа сүт өнімдері сияқты, ақуызға бай, сондықтан әрқайсымыздың тағам рационымызға қауіпсіз түрде ұсынылады. Сондай-ақ, ірімшікте кальций, фосфор және С, А, Е және В тобы витаминдерінің едәуір мөлшері бар, олар ағзаның сүйек, бұлшықет, сондай-ақ жүйке жүйесінің қалыпты жұмыс істеуі үшін қажет. Сүзбе ірімшігі құрамында адам ағзасына пайдалы казеин мен альбумин ақуыздары, май қышқылдары және сүт қышқылы бактериялары бар, бұл ас қорыту процестерін тиімдірек етеді.

ӘДЕБИЕТТЕР

Баймуродов Р.С., Кароматов И.Д., Нурбобоев А.У., 2017- Баймуродов Р.С., Кароматов И.Д., Нурбобоев А.У. Шиповник-профилактическое и лечебное средство // Биология и интегративная медицина. – (10), 87–105.

ГОСТ 31449–2013 «Молоко коровье сырое. Технические условия. – Москва: Стандартинформ, 2018. – 8с.

ГОСТ 32343–2013. Корма, комбикорма. Определение содержания кальция, меди, железа, магния, марганца, калия, натрия и цинка методом атомно-абсорбционной спектроскопии – Москва: Стандартинформ, 2014. – 14с.

ГОСТ 32043–2012 Премиксы. Методы определения витаминов А, D, Е. – Москва: Стандартинформ, 2020. – 14с.

Киртаева Т.Н., Керенцева Л.Р., 2019 - *Киртаева Т.Н., Керенцева Л.Р.* Разработка рецептуры творожного сыра с добавлением фиников // *Аграрный вестник Приморья.* (3), 39–41.

Кириллюк А.Н. и др., 2020 - *Кириллюк А.Н. и др.* Использование растительного сырья в технологии производства продукции функционального и специального назначения // *Материалы III Международной научно-практической конференции «Вопросы науки 2020: потенциал науки и современные аспекты».* – г. Анапа, 34–38.

Ламан Н., Копылова Н., 2017 - *Ламан Н., Копылова Н.* Шиповник-природный концентрат витаминов и антиоксидантов // *Наука и инновации.* 10(176), 45–49.

Остроумов Л.А., Смирнова И.А., Захарова Л.М., 2015 –*Остроумов Л.А., Смирнова И.А., Захарова Л.М.* Особенности и перспективы производства мягких сыров // *Техника и технология пищевых производств.* 39(4), 80–86.

Пецуха В.С., Чебыкин Е.П., Федосеева Г.М., 2008 - *Пецуха В.С., Чебыкин Е.П., Федосеева Г.М.* Изучение элементного состава крапивы коноплевой // *Сибирский медицинский журнал (Иркутск).* 81(6), 88–90.

Саженова Ю.М., 2017 - *Саженова Ю.М.* Функциональный творожный продукт с крапивой и шиповником // *Ползуновский вестник.* (2), 23–27.

Тимирханова Г.А., Абдуллина Г.М., Кулагина И.Г., 2007 - *Тимирханова Г.А., Абдуллина Г.М., Кулагина И.Г.* Витамин с: классические представления и новые факты о механизмах биологического действия // *Вятский медицинский вестник.* (4), 158–161.

Технический регламент Таможенного союза «О безопасности молока и молочной продукции» (ТР ТС 033/2013) (*с изменениями и дополнениями по состоянию на 15.07.2022 г.*)

Винницкая В.Ф., Акишин Д.В., 2013 - *Винницкая В.Ф., Акишин Д.В.* Разработка и создание функциональных продуктов из растительного сырья в Мичуринском государственном аграрном университете // *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета.* (6), 83–86.

Винницкая В. Ф. и др., 2019 - *Винницкая В. Ф. и др.* Производство продуктов для здорового и функционального питания из шиповника по безотходной технологии // *Наука и образование.* 2(2).

REFERENCES

Baimurodov R.S., Karomatov I.D., Nurboboev A.U., 2017 - *Baimurodov R.S., Karomatov I.D., Nurboboev A.U.* Rosehip is a preventive and therapeutic agent // *Biology and Integrative Medicine,* (10), 87–105.

GOST 31449–2013 Raw cow's milk. Specifications. - Moscow: Standartinform, 2018. – 8s.

GOST 32343–2013. Feed, compound feed. Determination of the content of calcium, copper, iron, magnesium, manganese, potassium, sodium and zinc by atomic absorption spectrometry - Moscow: Standartinform, 2014. – 14p.

GOST 32043–2012 Premiums. Methods for determining vitamins A, D, E. - Moscow: Standartinform, 2020. – 14c.

Kirtaeva T.N., Kerentseva L.R., 2019 - *Kirtaeva T.N., Kerentseva L.R.* Development of a recipe for curd cheese with the addition of dates // *Agrarian Bulletin of Primorye.* (3), 39–41.

Kirilyuk A.N. et al., 2020 - *Kirilyuk A.N. et al.* The use of plant materials in the production technology of functional and special-purpose products // *Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference “Science Issues 2020: the potential of science and modern aspects.”* - Anapa, 34–38.

Laman N., Kopylova N., 2017 - *Laman N., Kopylova N.* Rosehip is a natural concentrate of vitamins and antioxidants // *Science and Innovations*, 10(176), 45–49.

Ostroumov L.A., Smirnova I.A., Zakharova L.M., 2015 - *Ostroumov L.A., Smirnova I.A., Zakharova L.M.* Features and prospects for the production of soft cheeses // *Technique and technology of food production*. 39(4), 80–86.

Petsukha V.S., Chebykin E.P., Fedoseeva G.M., 2008 - *Petsukha V.S., Chebykin E.P., Fedoseeva G.M.* The study of the elemental composition of hemp nettle // *Siberian Medical Journal (Irkutsk)*, 81(6), 88–90.

Sazhenova Yu.M., 2017 - *Sazhenova Yu.M.* Functional curd product with nettle and wild rose // *Polzunovskiy Bulletin*, (2), 23–27.

Timirkhanova G.A., Abdullina G.M., Kulagina I.G., 2007 - *Timirkhanova G.A., Abdullina G.M., Kulagina I.G.* Vitamin C: classical ideas and new facts about the mechanisms of biological action // *Vyatsky Medical Bulletin*. (4), 158–161.

Technical Regulations of the Customs Union “On the Safety of Milk and Dairy Products” (TR CU 033/2013) (with amendments and additions as of 07/15/2022).

Vinnitskaya V.F., Akishin D.V., 2013 - *Vinnitskaya V.F., Akishin D.V.* Development and creation of functional products from plant materials at the Michurinsk State Agrarian University. // *Bulletin of the Michurinsk State Agrarian University*. (6), 83–86.

Vinnitskaya V.F. et al., 2019 - *Vinnitskaya V.F. et al.* Production of products for healthy and functional nutrition from wild rose using waste-free technology // *Science and education*. 2(2).

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY
OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
ISSN 2224-5227
Volume 345, Number 1 (2023), 265–281
<https://doi.org/10.32014/2023.2518-1483.200>

UDC 54.064

© **M.R. Mamedova**^{1,2}, **A.B. Ibraimov**¹, **K. Ashimuly**¹, **S.S. Yegemova**¹,
M.B. Alimzhanova^{1,2*}, 2023

¹Center of Physical Chemical Methods of Research and Analysis,
Almaty, Kazakhstan;

²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: mereke.84@mail.ru

VALIDATION OF THE METHODOLOGY FOR THE ANALYSIS OF ENDOCRINE DESTRUCTORS IN WATER

Mamedova Madina Ruslanovna — PhD. Doctoral student. Senior Lecturer of the Department of Thermal Physics and Technical Physics. Faculty of Physics and Technology of Al-Farabi Kazakh National University. 050040, Almaty, Kazakhstan

E-mail: madinamamedova777@gmail.com. ORCID: 0000-0001-6927-9896;

Ibraimov Aibat Bolatbekovich — PhD. Doctoral student. Junior researcher at the Center for Physical and Chemical Methods of Research and Analysis, 050012, Almaty, Kazakhstan

E-mail: a_bolatbekovich11@mail.ru. ORCID: 0000-0003-2342-5960;

Ashimuly Kazhybek — Master of Technical Sciences. Researcher at the Center for Physical and Chemical Methods of Research and Analysis, 050012, Almaty, Kazakhstan

E-mail: kajeke@mail.ru. ORCID: 0000-0003-1310-1524;

Yegemova Saltanat Sabitovna — Doctor PhD of chemistry. Researcher at the Center for Physical and Chemical Methods of Research and Analysis, 050012, Almaty, Kazakhstan

E-mail: s.yegemova@gmail.com. ORCID: 0000-0002-4834-4721;

Alimzhanova Mereke Baurzhanovna — Doctor PhD of standardization and certification. Associate Professor of the Department of Thermal Physics and Technical Physics. Faculty of Physics and Technology of Al-Farabi Kazakh National University, 050040, Almaty, Kazakhstan

E-mail: mereke.84@mail.ru. ORCID ID: 0000-0003-2641-0828.

Abstract. Throughout the country, chemical contamination influences ecosystems and human health. Due to their toxicity and lack of regulation, hazardous substances are a particular source of concern. Endocrine disruptors present in food goods are another top concern. Endocrine disruptors called alkylphenols have an impact on the ecological health of water samples. Manufacturers use alkylphenols in the production of food packaging materials and certain plastics, and traces of alkylphenols are found in polycarbonate plastic drinking water bottles. Contamination of water samples with endocrine disruptors leads to a negative impact on public health. Consequently, there is a serious necessity to monitor endocrine disruptors. The paper details the invention of a technique for measuring alkylphenols in water samples using miniaturized solid-phase microextraction in tandem with mass spectrometry methods. As a result of the research, the main

parameters of miniaturized solid-phase microextraction of alkylphenols from the aqueous phase were optimized: fiber coating - DVB/CAR/PDMS, extraction temperature – 90°C, extraction time – 20 min, preincubation time – 20 min (NP, OP) and 30 min (BA), addition of NaCl – 30 %. The evaluation of validation characteristics such as: linearity, reproducibility, repeatability, accuracy. The developed method can be applied to determine and control traces of alkylphenols in water samples.

Keywords: miniaturized solid-phase microextraction, water samples, alkylphenols, endocrine disruptors, gas chromatography, mass-spectrometry

Financing: This study was carried out under the project of the National Center of Science and Technology Evaluation "Effective development of highly sensitive methods of analysis of food based on miniaturized solid-phase microextraction" and funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Kazakhstan Republic (Grant no. AP09058561).

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

© М.Р. Мамедова^{1,2}, А.Б. Ибраимов¹, К. Ашимулы¹, С.С. Егемова¹,
М.Б. Алимжанова^{*1,2}, 2023

¹Физика-химиялық зерттеу және талдау әдістері орталығы,
Алматы, Қазақстан;

²Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан.
E-mail: mereke.84@mail.ru

СУДАҒЫ ЭНДОКРИНДЫҚ ДИСТРУКТОРЛАРДЫ ТАЛДАУ ӘДІСТЕМЕСІН ВАЛИДАЦИЯЛАУ

Мамедова Мадина Русланқызы — PhD Докторанты. Жылу физикасы және техникалық физика кафедрасының аға оқытушысы. Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ физика-техникалық факультеті, 050040, Алматы, Қазақстан

E-mail: madinamamedova777@gmail.com. ORCID: 0000-0001-6927-9896;

Ибраимов Айбат Болатбекович — PhD Докторанты. Физика-химиялық зерттеулер және талдау әдістері орталығы орталығының кіші ғылыми қызметкері, 050012, Алматы, Қазақстан
E-mail: a_bolatbekovich11@mail.ru. ORCID: 0000-0003-2342-5960;

Ашимулы Кажыбек — Техника ғылымдарының магистрі. Физика-химиялық зерттеулер және талдау әдістері орталығы орталығының ғылыми қызметкері, 050012, Алматы, Қазақстан
E-mail: kajeke@mail.ru. ORCID: 0000-0003-1310-1524;

Егемова Салтанат Сабитовна — Химия ғылымдарының PhD докторы. Техника ғылымдарының магистрі, Физика-химиялық зерттеулер және талдау әдістері орталығы орталығының ғылыми қызметкері, 050012, Алматы, Қазақстан

E-mail: s.yegemova@gmail.com. ORCID: 0000-0002-4834-4721;

Алимжанова Мереке Бауржановна — Стандартизация және сертификация ғылымдарының PhD докторы. Жылу физикасы және техникалық физика кафедрасының доценті. Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ физика-техникалық факультеті, 050040, Алматы, Қазақстан
E-mail: mereke.84@mail.ru. ORCID: 0000-0003-2641-0828.

Аннотация. Химиялық ластанудың адам денсаулығына және экожүйеге әсері бүкіл аймақта байқалады. Қауіпті химиялық заттар олардың уыттылығы

мен бақылаудың болмауына байланысты ерекше алаңдаушылық тудырады. Басқа өзекті мәселелерге тамақ өнімдеріндегі кездесетін эндокриндік бұзғыштар жатады. Алкилфенолдар су үлгілерінің экологиялық жағдайына әсер ететін эндокриндік бұзылулар болып табылады. Өндірушілер алкилфенолдарды тамақ өнімдерін орауыш материалдар мен кейбір пластмассаларды өндіруде пайдаланады, ал алкилфенолдардың іздері поликарбонатты пластикалық ауыз су бөтелкелерінде кездеседі. Су үлгілерінің эндокриндік бұзылулармен ластануы халықтың денсаулығына теріс әсер етеді. Сондықтан эндокриндік бұзылуларды жедел бақылау қажет. Бұл мақалада су үлгілеріндегі алкилфенолдарды хромато-масс-спектрометриямен біріктірілген миниатюрленген қатты фазалық микроэкстракция әдісімен анықтау әдісін әзірлеу нәтижелері берілген. Зерттеу нәтижесінде алкилфенолдарды сулы фазадан миниатюрленген қатты фазалық микроэкстракциялаудың негізгі параметрлері оңтайландырылды: талшықты жабын – DVB/CAR/PDMS, экстракция температурасы – 90°C, экстракция уақыты – 20 мин, преинкубация уақыты – 20 мин (NP, OP) және 30 мин (BA), NaCl қосу – 30 %. Сонымен қатар төмендегідей валидациялау сипаттамаларына бағалау жүргізілді: сызықтық, қайталанымдылық, қайталанғыштық, дәлдік. Өзірленген әдісті су үлгілеріндегі алкилфенолдардың іздерін анықтау және бақылау үшін пайдалануға болады.

Түйін сөздер: миниатюрленген қатты фазалы микроэкстракция, су үлгілері, алкилфенолдар, эндокриндік бұзғыштар, газды хроматография, масс-спектрометрия

Қаржыландыру: Бұл зерттеу ҰМҒТСО жобасы бойынша жүргізілді «Миниатюраланған қатты фазалы микроэкстракция негізінде тамақ өнімдерін талдаудың жоғары сезімтал әдістерін әзірлеу» және Қазақстан Республикасы Қазақстан Республикасының Жоғары Білім және Ғылым министрлігімен қаржыландырған (Грант № AP09058561).

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

© М.Р. Мамедова^{1,2}, А.Б. Ибраимов¹, К. Ашимулы¹, С.С. Егемова¹,
М.Б. Алимжанова^{1,2*}, 2023

¹Центр физико-химических методов исследования и анализа,
Алматы, Казахстан;

²Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Алматы, Казахстан.

E-mail: mereke.84@mail.ru

ВАЛИДАЦИЯ МЕТОДОЛОГИИ АНАЛИЗА ЭНДОКРИННЫХ ДЕСТРУКТОРОВ В ВОДЕ

Мамедова Мадина Руслановна — докторант PhD. Старший преподаватель кафедры теплофизики и технической физики. Физико-технический факультет Казахского национального университета имени аль-Фараби, 050040, г. Алматы, Казахстан
E-mail: madinamedova777@gmail.com. ORCID: 0000-0001-6927-9896;

Ибраимов Айбат Болатбекович — докторант PhD. Младший научный сотрудник Центра физико-химических методов исследования и анализа, 050012, Алматы, Казахстан
E-mail: a_bolatbekovich11@mail.ru. ORCID: 0000-0003-2342-5960;

Ашимулы Кажыбек — магистр технических наук. Научный сотрудник Центра физико-химических методов исследования и анализа, 050012, Алматы, Казахстан
E-mail: kajeke@mail.ru. ORCID: 0000-0003-1310-1524;

Егемова Салтанат Сабитовна — доктор PhD по химии. Научный сотрудник Центра физико-химических методов исследования и анализа, 050012, Алматы, Казахстан
E-mail: s.yegemova@gmail.com. ORCID: 0000-0002-4834-4721;

Алимжанова Мереке Бауржановна — доктор PhD по стандартизации и сертификации. Доцент кафедры теплофизики и технической физики. Физико-технический факультет Казахского национального университета имени аль-Фараби, 050040, г. Алматы, Казахстан
E-mail: mereke.84@mail.ru. ORCID: 0000-0003-2641-0828.

Аннотация. Ухудшение экосистемы и здоровья человека является одной из проблем, вызванных химическим загрязнением. В настоящее время отсутствие методов борьбы с высокотоксичными химическими загрязнителями объектов окружающей среды является особой проблемой и требует внимания. Особое место занимает загрязнение продуктов питания эндокринными разрушителями. Алкилфенолы являются эндокринными разрушителями, влияющими на экологическое состояние проб воды. Производители используют алкилфенолы при производстве упаковочных материалов для пищевых продуктов, и определенных пластмасс, в связи с этим следы алкилфенолов встречаются в поликарбонатных пластиковых бутылках питьевой воды. Загрязнение эндокринными деструкторами проб воды приводит к негативному влиянию на здоровье населения. Поэтому острую необходимость имеет проведения контроля над эндокринными деструкторами. В данной статье представлены результаты разработки методики определения алкилфенолов в пробах воды методом миниатюризированной твердофазной микроэкстракции в сочетании с хромато-масс-спектрометрией. В результате исследований оптимизированы основные параметры миниатюризированной

твердофазной микроэкстракции алкилфенолов из водной фазы: покрытие волокна – DVB/CAR/PDMS, температура экстракции – 90°C, время экстракции – 20 мин, время прединкубации – 20 мин (NP, OP) и 30 мин (BA), добавка NaCl – 30%. Проведена оценка валидационных характеристик таких как: линейность, воспроизводимость, повторяемость, точность. Разработанный метод может быть использован для определения и контроля следов алкилфенолов в пробах воды.

Ключевые слова: миниатюризованная твердофазная микроэкстракция, пробы воды, алкилфенолы, эндокринные разрушители, газовая хроматография, масс-спектрометрия

Финансирование: Данное исследование выполнялось по проекту НЦГНТЭ «Эффективная разработка высокочувствительных методик анализа продуктов питания на основе миниатюризованной твердофазной микроэкстракции» и финансировалось Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан (Грант № AP09058561).

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Introduction

Water pollution with endocrine disruptors has become one of the problems of interest in the world in recent years. All types of chemical organic substances that change the function of the hormonal system and the body's internal regulatory system after consumption are classified as "endocrine disruptors" (Priac et al., 2017; Cantoni et al., 2020; Zhou et al., 2020; Adoamnei et al., 2018). For industry, agriculture, and public health organizations, the introduction of organic substances categorized as endocrine disruptors in water and surface water has become a severe issue. The widespread distribution of compounds that disrupt the endocrine system in water indicates their occurrence in every component of the environment (De Toni et al., 2020; Pironti et al., 2021).

Alkylphenols and their derivatives are powerful endocrine disruptors that are employed as surfactants in commercial and household products and have the potential to be toxic and depressant to living things (Gonsioroski et al., 2020). Analysis of alkylphenol and its derivatives from diverse environmental items and techniques for their decontamination are therefore challenging issues. They continue to exist in the environment in industrial and isolated areas despite attempts to restrict their usage. They can be found in a variety of natural settings, including soil, food and water (Diamanti-Kandarakis et al., 2009; Kovarova et al., 2013; Morin-Crini et al., 2021).

The most commercially essential alkylphenols are nonylphenols (NPs), octylphenol (OP), bisphenol-A (BA) and their ethoxylates. These substances interact with estrogen receptors to imitate the effects of endogenous hormones and increase thyroid and estrogenic activity. This subsequently makes it possible to disturb the body's endocrine system. The parent molecules and the breakdown products of

these molecules are a potential ecotoxicological issue because of their extensive dispersion in surface waters and persistence in sediments (Arslan-Alaton et al., 2012; Penserini et al., 2022; Akhbarizadeh et al., 2020; Ginter-Kramarczyk et al., 2022). Incomplete removal in the process of wastewater treatment and wastewater from treatment facilities is a source of environmental pollution with alkylphenols (Rizzo et al., 2011).

Nonylphenol has been discovered in groundwater, surface waters and all the other sources of water (Bergé et al., 2012). Several research concur that the release of wastewater from wastewater treatment facilities is the primary cause of alkylphenols in the surface waters, with a higher frequency in those works that treat wastewater from industrial/urban areas and other related activities such as stormwater discharge and runoff. People are exposed to food and drinking water contaminated with alkylphenols (Alimzhanova et al., 2017). Nonylphenol and octylphenol can be detected in the composition of food and drinking water, from the influence of plastic containers and packaging used to store food and drinking water. The use of care products and detergents is one way of influencing the human body (Ebele et al., 2017; Soares et al., 2008).

Due to the lack of special research groups involved in solving the problem of identifying endocrine disruptors from the composition of water resources in Kazakhstan and lack of measures to identify endocrine disruptors, this problem is very relevant (Alimzhanova et al., 2015). As a result, this increases hereditary diseases caused by endocrine disruptors among the population (Alimzhanova et al., 2016; Alimzhanova et al., 2022). Therefore, the aim of this article is to develop method for the determination of endocrine disruptors from water samples by gas chromatography-mass spectrometry combined with miniaturized solid-phase microextraction.

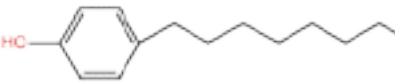
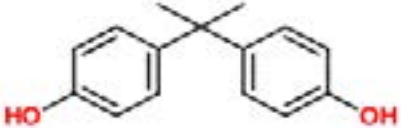
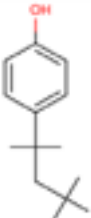
Alkylphenols in water samples were firstly identified in this work using miniaturized solid-phase microextraction in conjunction with gas chromatography-mass spectrometry. Alkylphenols were extracted from the aqueous phase using a miniaturized solid-phase microextraction process, and the key parameters were optimized, and the validation properties assessed. The combination of several detection methods gives very accurate qualitative and quantitative evaluation of alkylphenols in water samples, and the miniaturized solid phase microextraction approach enables the identification of specific analytes at extremely low concentrations.

The suggested approach employs 2 ml vials as opposed to the solid phase microextraction method, which only needs 1 ml of the target analyte. The time it takes for the liquid phase and the fiber to reach equilibrium is drastically shortened when employing the miniaturized solid phase microextraction technique, which enhances the overall accuracy of the study. This technique will be helpful for accurately, quickly, and affordably determining alkylphenols in water samples. This suggested sample preparation technique does not need hazardous organic solvents, making it a method of analysis that is favorable to the environment (Alimzhanova et al., 2022).

Materials and methods

The following reagents, with their respective CAS numbers, were obtained from Meryer (Minhang District, Shanghai): bisphenol-A (80-05-7), p-nonylphenol (84852-15-3), n-nonylphenol (25154-52-3) and p-tert-octylphenol (140-66-9). Characteristics of analytes are shown in Table 1. For the analysis following solutions 1 M sulfuric acid, 10 M sodium hydroxide, and analytical pure sodium chloride was used.

Table 1. Chemical properties of alkylphenols.

Substance	CAS No:	Chemical formula	Molecular mass
nonylphenol	25154-52-3	 $C_{15}H_{24}O$	220.36 g/mol
bisphenol-A	80-05-7	 $C_{15}H_{16}O_2$	228.29 g/mol
p-tert-octylphenol	140-66-9	 $C_{14}H_{22}O$	206.33 g/mol

Contaminated water with alkylphenols (nonylphenols and p-tert-octylphenol, bisphenol-A) were used for analysis. For the preparation of water samples with 10.0 µg/L concentration of BA, 17.0 µg/L of NA, 5.0 µg/L of OP, firstly, 0.001 g of BA, 0.0005 g of OP, and 0.0017 g of NPs was in the porcelain mortar, powdered to create a homogenous mass. The obtained mass was then put into a flask with a 100 ml capacity and filled to the appropriate level with distilled water.

The analysis is sped up and the accuracy of the data is improved using an automated sample injector. The gas chromatograph equipment was managed by

an Agilent MSD ChemStation (version 1701EA) for the purpose of capturing and analyzing chromatographic data. The collected mass spectra was decoded using NIST'02 and the 7th edition of the Wiley library. HP5-MS 30 m 0,25 mm, film thickness 0,25 mm chromatographic column with the input sample splitless mode was applied for the GC/MS analysis. The GC/MS oven's temperature was 260°C. The carrier gas, helium, was employed and flowed at a steady rate of 1 ml/min. The oven's temperature was first set to 50°C (extract for 2 minutes), then it was raised by 20°C per minute to 100°C, 10°C per minute to 200°C, and 20°C per minute to 300°C. The MSD interface's temperature was 300, and its detection mode scan was set to m/z 50–550. The total analysis time was 26 minutes.

Identification of alkylphenols (bisphenol, nonylphenol, octylphenol) is carried out by their mass spectra. The mass spectra of alkylphenols (bisphenol, nonylphenol, octylphenol) are shown in Figures 1-2. The retention time of alkylphenols (bisphenol, nonylphenol, octylphenol) is generally 0.1 min longer than the retention time, however a deviation of ± 0.1 min is acceptable. To confirm the identification of alkylphenols (bisphenol, nonylphenol, octylphenol), it is necessary to check the ratio of the areas of its peaks on chromatograms for ions m/z 213 and 135 ions. If the obtained ratio is not included in this range, consider alkylphenols as not detected.

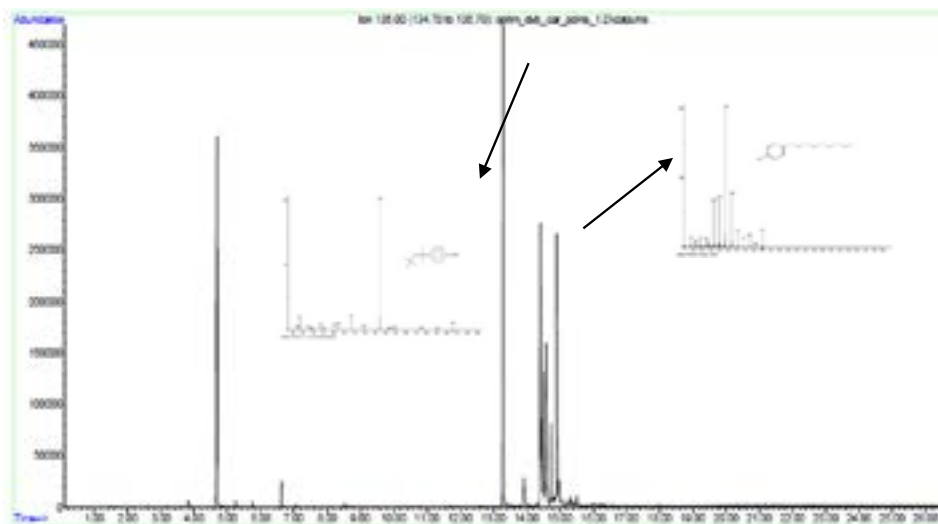


Fig. 1. Chromatogram and mass spectra of nonylphenols and octylphenol



Fig. 2. Chromatogram and mass spectra of bisphenol-A

Determination of alkylphenols were carried out manually with the mini-SPME method. The following mini-SPME parameters were used for the analysis of alkylphenols in the 300 mL of aqueous samples: pre-incubation time of 10 min, injector temperature of 260°C, desorption time of 2 min, extraction temperature of 90°C, and extraction time of 5 min.

The extraction time has a significant influence on solid-phase microextraction (Risticvic et al., 2010). Thus, it is the crucial parameter in the mini-SPME the extraction time was optimized at 0.5, 1, 2, 3, and 5 minutes.

The ideal extraction temperature was established at 50, 70, and 90°C. Additionally, 10, 20, and 30 minutes were selected to optimize the pre-incubation period. Concentration of salts was evaluated, and it varied from 5 to 50 %. Concentrations for the "acid effect" and "alkaline effect" studies varied from 0.002 to 0.1 M and 0.02 to 1.0 M, respectively.

Since the distribution constant between the fiber coating and the sample matrix determines how effectively the extraction process works, choosing the fiber coating is an important step in the mini and regular SPME technique (Risticvic et al., 2010). The following fiber types were examined to determine the best extraction coating: 100 m of polydimethylsiloxane (PDMS); 50/30 m of divinylbenzene/carboxen/polydimethylsiloxane (DVB/CAR/PDMS); and 85 m of carboxen/polydimethylsiloxane (CAR/PDMS) purchased from Supelco, United States.

Temperature, salt content, and pH are the extraction parameters that impact the analyte distribution constant and determine whether SPME extraction is complete.

The following amounts of NaCl were added to 5 mL of water to determine the impact of salt on the extraction process: 0.25; 0.75; 1; 1.25; and 1.5 g. Analysis was performed in three parallels. The following conditions were used for the extraction

of the analytes: 50/30 m DVB/CAR/PDMS was used as the extraction coating, and the pre-incubation time was 5 minutes. The extraction temperature was 90°C, and the extraction period was 5 minutes. The desorption time was 1 minutes.

Results and discussions

The following parameters were chosen as the mini-SPME method's optimum values throughout the selection process: the optimal pre-incubation time, temperature, and analysis of the effects of salt, acid, and alkaline.

The 50/30 m divinylbenzene/carboxen/polydimethylsiloxane (DVB/CAR/PDMS) extraction coating was displayed to be the most effective in extracting p-tert-octylphenol, p-nonylphenol, and n-nonylphenol from water samples during the analysis for selecting the most efficient extraction coating for determining the alkylphenols in the water samples (Figure 3).

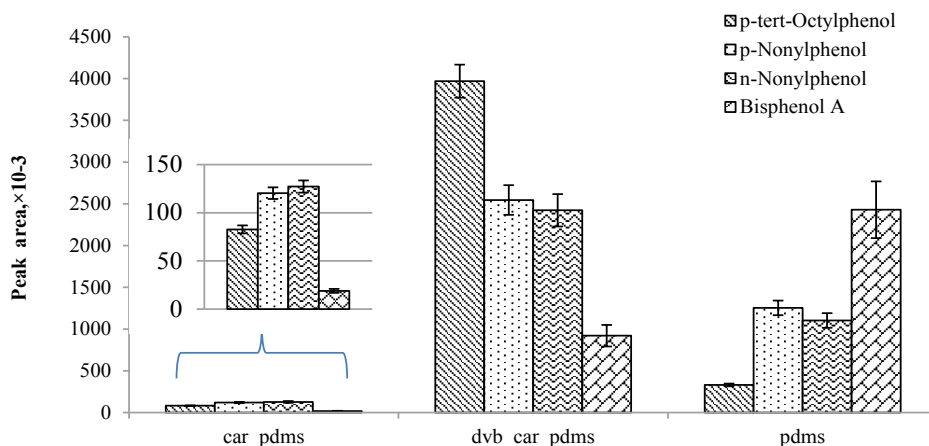


Fig. 2. Selection of an optimal extraction coating

Although CAR/PDMS-based fibers are likewise of the adsorption type, their structure is less porous, which contributes to their strong selectivity for low-molecular-weight molecules. The CAR/PDMS-based fibers do not sufficiently remove endocrine disruptors since they are relatively high mass molecules.

The sole factor limiting the extraction surface's effective area in such fibers is the coating area that gel symbolizes. Chemical bonding enables matter retention by the adsorption of extractable compounds on various fiber types. The findings of this experiment demonstrated that while chemically stable compounds make up most endocrine disruptors, they are removed less by coatings based on PDMS. The fiber based on 50/30 m DVB/CAR/PDMS, however, demonstrated much superior efficiency in the extraction of endocrine disruptors from the water as compared to the fibers based on CAR/PDMS, 100 m PDMS. In this way, the extraction coating based on 50/30 m DVB/CAR/PDMS is the most precise and effective extraction coating for the study of endocrine disruptors.

Only the coating area modeled by gel serves as a restriction on the effective extraction surface in such fibers. By adsorbing extractable molecules on certain fiber types, chemical linkages enable the retention of materials. The findings of this experiment showed that although chemically stable chemicals make up most endocrine disruptors, coatings based on PDMS remove them less. However, as compared to fibers based on CAR/PDMS and 100 m PDMS, fibers based on 50/30 m DVB/CAR/PDMS shown noticeably greater efficacy in the extraction of endocrine disruptors from the water. In this way, the 50/30 m DVB/CAR/PDMS extraction coating is the most precise and effective extraction coating for the study of endocrine disruptors.

For optimization, the extraction times 0, 5, 1, 2, 3, and 5 minutes have all been evaluated. 90°C was the extraction temperature. Time intervals for preincubation and desorption times were established at 5 and 1, respectively. Figure 4 displays the optimization results.

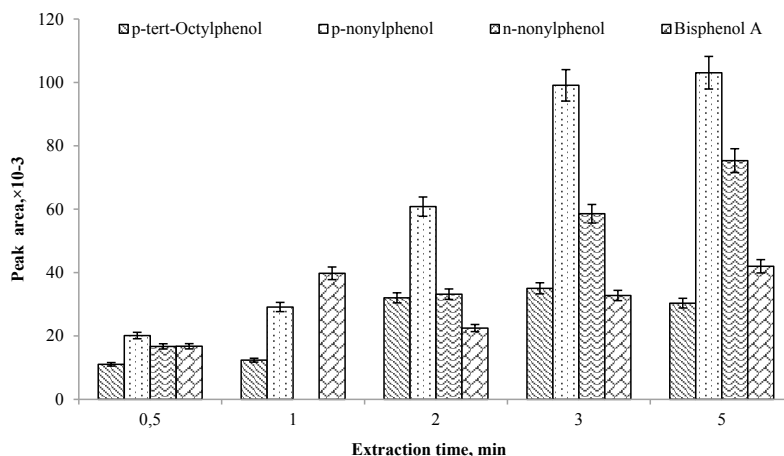


Fig. 4. Alkylphenols responses to extraction time determined by a mini-SPME

As seen in Figure 4, alkylphenols including p-tert-octylphenol, p-nonylphenol, n-nonylphenol, and bisphenol-A respond more favorably when the extraction duration is increased from 0.5 to 5 minutes. The analytical signal for bisphenol A will become less stable when extraction time is increased, yet the largest peak area was seen at 5 minutes. These findings determined that a 5-minute extraction period is ideal for analysis of alkylphenols in a water samples.

The equilibrium between the solid and gaseous phases is attained during the pre-incubation time. The following periods were investigated using mini-SPME to find the ideal pre-incubation time for alkylphenols: 10, 20, and 30 minutes. As the pre-incubation time is increased (Figure 5), the response of alkylphenols rises and the responses of the compounds considerably alter. These results determined that p-tert-octylphenol, n-nonylphenol, and bisphenol-A pre-incubation times of 30

minutes are ideal since they provide a strong signal. However, 20 minutes is the preferred pre-incubation period for p-nonylphenol.

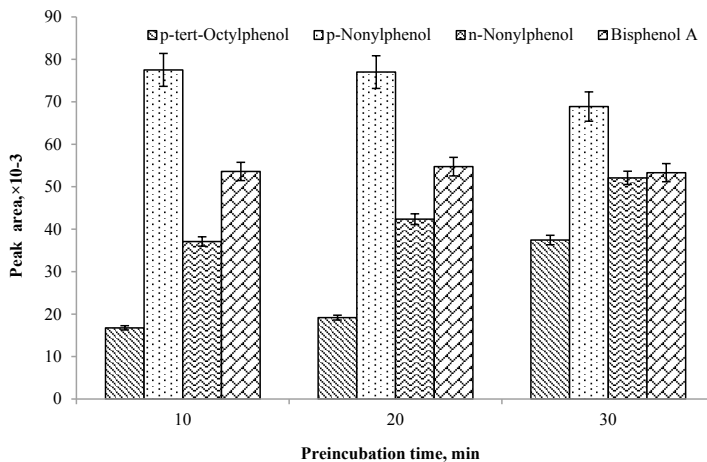


Fig. 5. Pre-incubation time effect on the mini-SPME reaction to p-tert-octylphenol, p-nonylphenol, n-nonylphenol, and bisphenol-A

To improve the efficiency of extracting analyzing components from water, an experiment on choosing the best extraction temperature must be conducted. To evaluate the optimization, water samples contaminated with alkylphenols including bisphenol A, nonylphenol and p-tert-octylphenol were employed. Optimization was achieved using the following parameters: extraction duration of 5 min, desorption time of 1 min, and preincubation time of 5 min. We chose 50, 70, and 90°C for the optimization of extraction temperatures for mini-solid-phase microextraction. Figure 6 displays the analysis results.

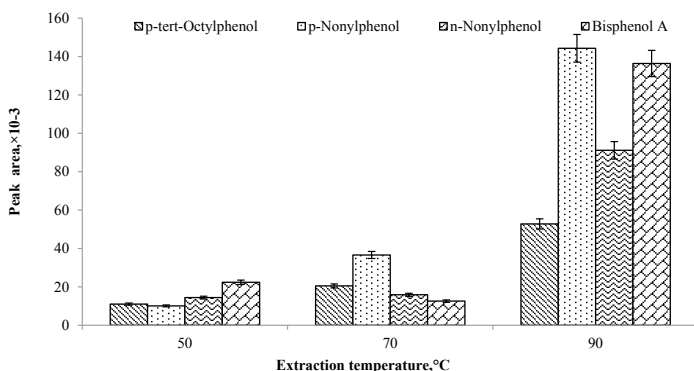


Fig. 6. Effect of extraction temperature on p-tert-octylphenol, p-nonylphenol, n-nonylphenol, and bisphenol-A response by mini-SPME

According to study findings, 90°C is the ideal temperature for extracting p-tert-octylphenol, p-nonylphenol, n-nonylphenol, and bisphenol-A from water samples. As a result, the excellent efficacy of this approach for alkylphenols was demonstrated by employing a mini-SPME method with adjusted parameters.

NaCl is a solid electrolyte parameter that influences the salt effect, which raises the ionic force in the solution and makes it easier for compounds to transition into the gas phase more successfully. The extraction of endocrine disruptors from the water sample is significantly impacted by the addition of salt.

Figure 7 illustrates how, in reaction to an increase in salt content, alkylphenols increased to 30 % when extraction was carried out. However, the reaction of the analyte has decreased when 50 % more salt is added to the sample solutions. The solid salt phase of salt is created in the sample when sodium chloride's solubility value is surpassed, which can trap the molecules of the item under test on its surface and keep them from entering the gas phase. The amount of salt in a sample that is 30 % more than sodium chloride's solubility in water.

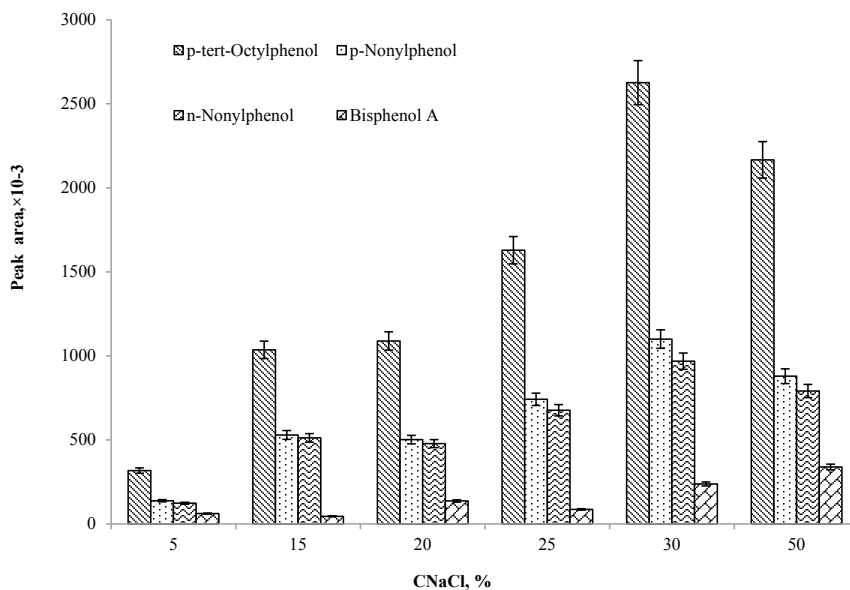


Fig. 7. Salt effect on p-tert-octylphenol, p-nonylphenol, n-nonylphenol, and bisphenol A extraction

To evaluate how acid might affect the extraction process, several concentrations of H₂SO₄ (0.002, 0.004, 0.01, 0.02, 0.04, and 0.1 M) were obtained. It has been noted that alkylphenols' reaction is unstable as the acid concentration rises. P-, n-, and p-tert-octylphenol respond better at a concentration of 0.01 M, whereas bisphenol-A at 0.002 M. concentration responds better (Figures 8).

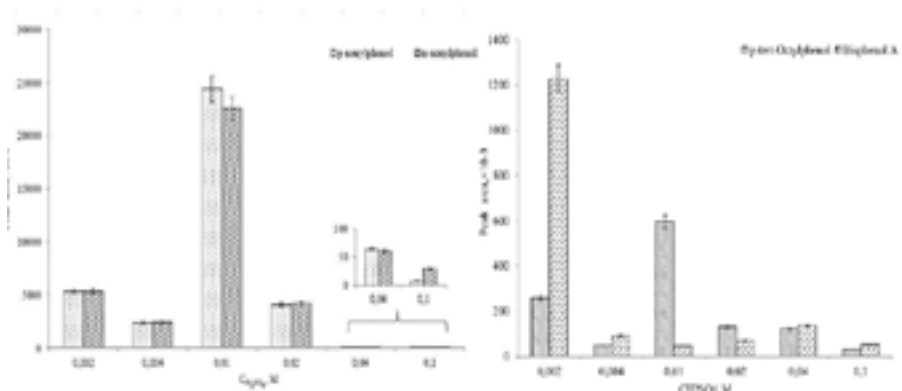


Fig. 8. Acid effect on the extracting of p-nonylphenol, n-nonylphenol, p-tert-octylphenol, and bisphenol-A

Different NaOH concentrations were used: 0,02, 0,04, 0,1, 0,2, 0,4, and 1 M to evaluate the impact of alkalinity on the extraction process. According to the study, the response of the alkylphenols is unstable at alkali concentrations of 0.02 M and 0.1 M, while 1 M is the ideal concentration (Figure 9).

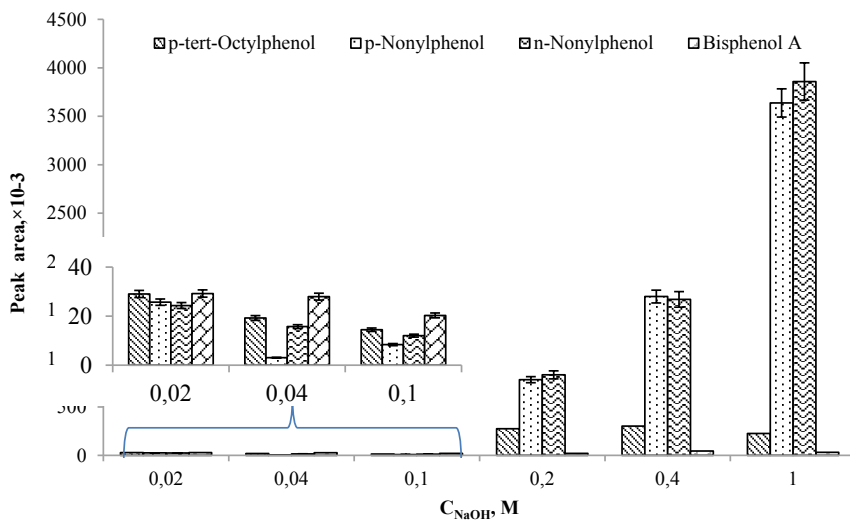


Fig. 9. Base effect on the extracting of bisphenol-A, n-nonylphenol, p-tert-octylphenol, p-nonylphenol

The following criteria' recommendations are followed for validating the technique for the quantitative measurement of alkylphenols in water samples: linearity, repeatability, reproducibility, and accuracy. To measure the mass

concentration of bisphenol A, nonylphenol and p-tert-octylphenol in water samples using by miniaturized solid-phase microextraction (mini-SPME) coupled with gas chromatography mass-spectrometry method in the concentration range from 0.005 g/L to 1.0 g/L. The main metrological aspects of the chromatographic analysis of bisphenol A, nonylphenol and p-tert-octylphenol in water samples are shown in Tables 2–3.

Table 2. The mini-SPME-GC/MS method's metrological characteristics for analyzing alkylphenols in a water sample

Analyte	Linearity, $\mu\text{g/L}$	R^2	Repeatability index, σ_r , %	Reproducibility index, σ_R , %	Accuracy rate, $\pm\delta$, %
bisphenol A	0.005 – 1.0	0.9814	9	10	26
p-nonylphenol		0.9931	10	12	30
n-nonylphenol		0.9963	11	10	28
p-tert-octylphenol		0.9846	9	10	25

Table 3. Completeness of extraction of alkylphenols, standard deviation, confidence interval of the mean result for $n = 20$,

$P = 0.95$

Analyte	Limit of detection, $\mu\text{g/L}$	Recovery, %	Standard deviation, S, %	Confidence interval of the average result, $\pm\%$
bisphenol A	0.005	76.8	5.2	2.3
p-nonylphenol		72.0	8.8	7.0
n-nonylphenol		74.3	8.2	7.6
p-tert-octylphenol		75.3	5.7	4.6

Based on these data with a probability of $P = 0.95$, this method provides analysis results with a relative error not exceeding 30 %.

Conclusion

This study validated a new method to determine alkylphenols using mini-SPME and GC-MS. Optimal chromatography conditions were obtained, followed by 30 min for bisphenol-A, n-nonylphenol, p-tert-octylphenol, 20 min for p-nonylphenol of pre-incubation time, subsequent extraction with DVB/CAR/PDMS for 5 min at 90°C . The water sample extracts the alkylphenols most successfully when 1.5 g of salt is added. Effect of the acid showed the optimal concentration for p-nonylphenol, n-nonylphenol, p-tert-octylphenol of 0.01 M, and bisphenol A was 0.002 M. The 1M of alkali is an optimum concentration for alkylphenols. However, there is no alkaline effect on bisphenol-A. Therefore, the method is intended to determine the mass concentration of alkylphenols (bisphenol A, nonylphenol, octylphenol) in water by miniaturized solid-phase microextraction (mini-SPME) coupled with gas chromatography mass-spectrometry method, in the concentration range from 0.005 $\mu\text{g/L}$ to 1.0 $\mu\text{g/L}$.

REFERENCES

- Adoamnei E., Mendiola J., Vela-Soria F., Fernández M.F., Olea N., Jørgensen N., Swan S.H. & Torres-Cantero A.M., 2018 — *Adoamnei E., Mendiola J., Vela-Soria F., Fernández M.F., Olea N., Jørgensen N., Swan S.H. & Torres-Cantero A.M.* Urinary bisphenol A concentrations are associated with reproductive parameters in young men. *Environmental research*, 161. 122–128. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.11.002>.
- Akhbarizadeh R., Dobaradaran S., Schmidt T.C., Nabipour I. & Spitz J., 2020 — *Akhbarizadeh R., Dobaradaran S., Schmidt T.C., Nabipour I., & Spitz, J.* Worldwide bottled water occurrence of emerging contaminants: A review of the recent scientific literature. *Journal of hazardous materials*, 392, 122271. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122271>.
- Alimzhanova M., Mamedova M., Ashimuly K., Alipuly A., Adilbekov Y., 2022 — *Alimzhanova M., Mamedova M., Ashimuly K., Alipuly A., Adilbekov Y.* Miniaturized solid-phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry for determination of endocrine disruptors in drinking water. *Food Chemistry: X*, 14. № 100345. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100345>.
- Alimzhanova M., Nurzhanova Y., 2015 — *Alimzhanova M., Nurzhanova Y.* Screening of endocrine disruptors in water samples by SPME-GC/MS. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, 2 (5). 441–446.
- Alimzhanova M., Nurzhanova Y., Onglasynkyzy D., Ashimuly K., Batyrbekova S., 2016 — *Alimzhanova M., Nurzhanova Y., Onglasynkyzy D., Ashimuly K., Batyrbekova S.* Determination of ethinylestradiol and norgestrel in drinking water by solid-phase microextraction. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, 2. 209–216.
- Alimzhanova M., Adilbekov Y., Zharylgap A., Onglassynkyzy D., Alipuly A., 2017 — *Alimzhanova M., Adilbekov Y., Zharylgap A., Onglassynkyzy D., Alipuly A.* Optimization of screening method for determination of alkylphenols in water samples by solid-phase microextraction. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, 17 (51). Pp. 721–728. <https://doi.org/10.5593/sgem2017/51/S20.138>.
- Arslan-Alaton I. & Olmez-Hanci T., 2012 — *Arslan-Alaton I. & Olmez-Hanci T.* Advanced Oxidation of Endocrine Disrupting Compounds: Review on Photo-Fenton Treatment of Alkylphenols and Bisphenol A. *Green Technologies for Wastewater Treatment*. 59–90. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-1430-45>.
- Bergé A., Cladière M., Gasperi J., Coursimault A., Tassin B. & Moilleron R., 2012 — *Bergé A., Cladière M., Gasperi J., Coursimault A., Tassin B. & Moilleron R.* Meta-analysis of environmental contamination by alkylphenols. *Environmental Science and Pollution Research*, 19(9), 3798–3819. <https://doi.org/10.1007/s11356-012-1094-7>.
- Cantoni B., Delli Compagni R., Turolla A., Epifani I. & Antonelli M., 2020 — *Cantoni B., Delli Compagni R., Turolla A., Epifani I. & Antonelli M.* A statistical assessment of micropollutants occurrence, time trend, fate and human health risk using left-censored water quality data. *Chemosphere*, 257, 127095. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127095>.
- De Toni L., De Rocco Ponce M., Petre G.C., Rtibi K., Di Nisio A. & Foresta C., 2020 — *De Toni L., De Rocco Ponce M., Petre G.C., Rtibi K., Di Nisio A. & Foresta C.* Bisphenols and Male Reproductive Health: From Toxicological Models to Therapeutic Hypotheses. *Frontiers in endocrinology*, 11, 301. <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.00301>.
- Diamanti-Kandarakis E., Bourguignon J.-P., Giudice L.C., Hauser R., Prins G.S., Soto A.M., Gore A.C., 2009 — *Diamanti-Kandarakis E., Bourguignon J.-P., Giudice L.C., Hauser R., Prins G.S., Soto A.M., Gore A.C.* Endocrine-Disrupting Chemicals: An Endocrine Society Scientific Statement. *Endocrine Reviews*, 30(4), 293–342. <https://doi.org/10.1210/er.2009-0002>.
- Ebele A.J., Abou-Elwafa Abdallah M. & Harrad S., 2017 — *Ebele A.J., Abou-Elwafa Abdallah M. & Harrad S.* Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in the freshwater aquatic environment. *Emerging Contaminants*, 3(1), 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2016.12.004>.
- Ginter-Kramarczyk D., Zembrzuska J., Kruszelnicka I., Zajac-Woźnialis A. & Ciślak M., 2022 — *Ginter-Kramarczyk D., Zembrzuska J., Kruszelnicka I., Zajac-Woźnialis A. & Ciślak M.* Influence

of Temperature on the Quantity of Bisphenol A in Bottled Drinking Water. *International journal of environmental research and public health*, 19(9), 5710. <https://doi.org/10.3390/ijerph19095710>.

Gonsioroski A., Mourikes V.E. & Flaws J.A., 2020. — *Gonsioroski A., Mourikes V.E. & Flaws J.A.* Endocrine Disruptors in Water and Their Effects on the Reproductive System. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(6), 1929. <https://doi.org/10.3390/ijms21061929>.

Kovarova J., Blahova J., Divisova L. & Svobodova Z., 2013 — *Kovarova J., Blahova J., Divisova L. & Svobodova Z.* Alkylphenol ethoxylates and alkylphenols – update information on occurrence, fate and toxicity in aquatic environment. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 16(4), 762–771. <https://doi.org/10.2478/pjvs-2013-0111>.

Morin-Crini N., Lichtfouse E. & Crini G., 2021. — *Morin-Crini N., Lichtfouse E. & Crini G.* Emerging Contaminants Vol. 2. *Environmental Chemistry for a Sustainable World*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-69090-8>.

Penserini L., Cantoni B., Vries D., Turolla A., Smeets P.W.M.H., Bokkers B.G.H. & Antonelli M., 2022 — *Penserini L., Cantoni B., Vries D., Turolla A., Smeets P.W.M.H., Bokkers B.G.H. & Antonelli M.* Quantitative chemical risk assessment for mixtures: Application to alkylphenol mixtures and phthalate mixtures in tap and bottled water. *Environment international*, 165, 107294. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107294>.

Pironti C., Ricciardi M., Proto A., Bianco P.M., Montano L. & Motta O., 2021 — *Pironti C., Ricciardi M., Proto A., Bianco P.M., Montano L. & Motta O.* Endocrine-Disrupting Compounds: An Overview on Their Occurrence in the Aquatic Environment and Human Exposure. *Water*, 13(10), 1347. <https://doi.org/10.3390/w13101347>.

Priac, A., Morin-Crini N., Druart C., Gavaille S., Bradu C., Lagarrigue C., Crini G., 2017 — *Priac A., Morin-Crini N., Druart C., Gavaille S., Bradu C., Lagarrigue C., Crini G.* Alkylphenol and alkylphenol polyethoxylates in water and wastewater: A review of options for their elimination. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S3749–S3773. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.05.011>.

Risticevic, S., Lord, H., Górecki, T., Arthur, C. L., & Pawliszyn, J., 2010 — *Risticevic, S., Lord, H., Górecki, T., Arthur, C. L., & Pawliszyn, J.* Protocol for solid-phase microextraction method development. *Nature Protocols*, 5(1), 122–139. <https://doi.org/10.1038/nprot.2009.179>

Rizzo, L., 2011 — *Rizzo, L.* Bioassays as a tool for evaluating advanced oxidation processes in water and wastewater treatment. *Water Research*, 45(15), 4311–4340. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.05.035>

Soares, A., Guieysse, B., Jefferson, B., Cartmell, E., & Lester, J. N., 2008 — *Soares, A., Guieysse, B., Jefferson, B., Cartmell, E., & Lester, J. N.* Nonylphenol in the environment: A critical review on occurrence, fate, toxicity and treatment in wastewaters. *Environment International*, 34(7), 1033–1049. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2008.01.004>

Zhou, X., Peng, F., Luo, Z., Li, Y., Li, H., & Yang, Z., 2020 — *Zhou, X., Peng, F., Luo, Z., Li, Y., Li, H., & Yang, Z.* Assessment of water contamination and health risk of endocrine disrupting chemicals in outdoor and indoor swimming pools. *The Science of the total environment*, 704, 135277. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135277>

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY
OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
ISSN 2224-5227
Volume 345, Number 1 (2023), 282–292
<https://doi.org/10.32014/2023.2518-1483.201>

UDC 541.182+546.111

© **S.S. Mendigaliyeva¹, I.S. Irgibaeva^{1*}, N.N. Barashkov², T.V. Sakhno³,
A.A. Aldongarov¹, 2023**

¹Laboratory of Physical and Quantum Chemistry, L.N. Gumilyov Eurasian
National University, Astana, Kazakhstan;

²Micro Tracers, Inc., San Francisco, California, USA;

³Poltava State Medical University, Poltava, Ukraine.

E-mail: irgsm@mail.ru

SYNTHESIS AND APPLICATION OF NANOTRACERS BASED ON MIXED IRON–COBALT OXIDE FOR EVALUATION OF THE QUALITY OF MIXING IN LIQUID FEED

Mendigaliyeva Svetlana Samiguliyena — L.N. Gumilyov Eurasian National University. Satpayev street, 2, 010000, Astana, Kazakhstan

E-mail: svet_men@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2737-7188>;

Irgibaeva Irina Smailovna — Doctor of science in chemistry, Professor of Chemistry Department. L.N. Gumilyov Eurasian National University, Satpayev street, 2, 010000, Astana, Kazakhstan

E-mail: irgsm@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2408-8935>;

Barashkov Nikolay Nikolayevich — Doctor of science in chemistry, Director of R&D and Technical Services Micro-Tracers. Inc. 1370 Van Dyke Avenue San Francisco. CA 94124. USA

E-mail: nikolay@microtracers.com, <https://orcid.org/0000-0003-2494-9248>;

Sakhno Tamara Viktorivna — Doctor of Chemical Sciences, Professor, Poltava State Medical University. Shevchenko street, 23, 36000, Poltava, Ukraine

E-mail: sakhno2001@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-7049-4657>;

Aldongarov Anuar Akykhanovich — Laboratory of Physical and Quantum Chemistry. L.N. Gumilyov Eurasian National University. Satpayev street, 2, 010000, Astana, Kazakhstan

E-mail: enu-2010@yandex.kz, <https://orcid.org/0000-0001-7784-0524>.

Abstract. Nanoparticles combining iron oxide (higher 95 %) and manganese oxide (below 5 %) have been prepared by mixing aqueous solutions of ferrous chloride, ferric chloride, cobalt chloride and ammonium hydroxide following by continued stirring and heating the forming colloidal Co-containing magnetite. The possibility of forming a stable nanotracer suspensions based on prepared nanoparticles in aqueous solutions of surfactants such as ammonium oleate and dimethylamine salt of oleic acid has been demonstrated. The particle size of the nanotracer has been determined by the Nanoparticle Tracking Analysis (NTA) method based on direct visualization and analysis of nanoparticles in aqueous media containing two types of surfactants. It has been found that the medium size of nanoparticles doesn't exceed 90 nm. The possibility of using the prepared

nanotracer to assess the quality of liquid feed mixing in laboratory and industrial conditions has been shown.

Key words: Nanotracer, mixed iron-cobalt oxide, nanoparticle tracking analysis, stable suspension, particle size, liquid feed

© С.С. Мендіғалиева^{1*}, И.С. Иргібаева^{1*}, Н.Н. Барашков², Т.В. Сахно³,
А.А. Алдонғаров¹, 2023

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Астана, Қазақстан;

²Micro Tracers, Inc., Сан-Франциско, Калифорния, АҚШ;

³Полтава Мемлекеттік Медицина Университеті, Полтава, Украина.

E-mail: irgsm@mail.ru

СҰЙЫҚ АЗЫМДА АРАЛАСТЫРУ САПАСЫН БАҒАЛАУ ҮШІН АРАС ТЕМІР-КОБАЛТ ОКСИДІНІҢ НЕГІЗІНДЕГІ НАНОТРЕКЕРЛЕРДІ СИНТЕЗІ ЖӘНЕ ҚОЛДАНУ

Мендіғалиева Светлана Самигуллиевна — Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті 3-ші курса докторанты. Сатпаев көшесі, 2, 010000, Астана, Қазақстан
E-mail: svet_men@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2737-7188>;

Иргібаева Ирина Смаиловна — химия ғылымдарының докторы, профессор. Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті. Сатпаев көшесі, 2, 010000, Астана, Қазақстан
E-mail: irgsm@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2408-8935>;

Барашков Николай Николаевич — химия ғылымдарының докторы, профессор. R&D Technical Services директоры Micro-Tracers, Inc. 1370 Van Dyke Avenue San Francisco. CA 94124, USA

E-mail: nikolay@microtracers.com, <https://orcid.org/0000-0003-2494-9248>;

Сахно Тамара Викторовна — химия ғылымдарының докторы, профессор. Полтава Мемлекеттік Медицина Университеті, Шевченко көшесі, 23, 36000, Полтава, Украина
E-mail: sakhno2001@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-7049-4657>;

Алдонғаров Ануар Ақылханович — PhD доктор, доцент. Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті. Сатпаев көшесі, 2, 010000, Астана, Қазақстан
E-mail: enu-2010@yandex.kz, <https://orcid.org/0000-0001-7784-0524>.

Аннотация. Темір оксиді (95 %-дан жоғары) мен марганец оксидін (5 %-дан төмен) біріктіретін нанобөлшектер темір хлориді, темір хлориді, кобальт хлориді және аммоний гидроксидінің сулы араластыру ерітінділері арқылы дайындалған, содан кейін коллоидты магнетит түзетін коллоидты магнетитті қыздыру және араластыру. Аммоний олеаты және олеин қышқылының диметиламин тұзы сияқты беттік белсенді заттардың сулы ерітінділерінде дайындалған нанобөлшектердің негізінде тұрақты нанотрасер суспензияларын қалыптастыру мүмкіндігі көрсетілді. Нанотазартқыштың бөлшектерінің өлшемі екі түрлі беттік белсенді заттар бар сулы ортадағы нанобөлшектерді тікелей визуализациялау мен талдауға негізделген Нанобөлшектерді бақылау талдауы (NTA) әдісімен анықталды. Ол нанобөлшектердің орташа өлшемі 90 нм-ден аспайтынын анықтады. Дайындалған нанотрасерді зертханалық

және өндірістік жағдайларда сұйық жемді араластыру сапасын бағалау үшін пайдалану мүмкіндігі көрсетілді.

Түйінді сөздер: Нанотрасер, аралас темір-кобальт оксиді, нанобөлшектерді бақылау талдауы, тұрақты суспензия, бөлшектердің өлшемі, сұйық жем

© С.С. Мендигалиева¹, С. Иргибаява^{1*}, Н.Н. Барашков², Т.В. Сахно³, 2023

¹Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан;

²Micro Tracers, Inc., Сан-Франциско, Калифорния, США;

³Полтавский Государственный Медицинский университет, Полтава, Украина.

⁴Полтавский медицинский университет, Полтава, Украина
E-mail: irgsm@mail.ru

СИНТЕЗ И ПРИМЕНЕНИЕ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА И КОБАЛЬТА В КАЧЕСТВЕ НАНОТРЕЙСЕРОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СМЕШИВАНИЯ В ЖИДКИХ КОРМАХ

Мендигалиева Светлана Самигуллиевна — Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, докторант 3-го курса, ул. Саптаева, 2, 010000, Астана, Казахстан
E-mail: svet_men@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2737-7188>;

Иргибаява Ирина Смаиловна — доктор химических наук, профессор, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, ул. Саптаева, 2, 010000, Астана, Казахстан: E-mail: irgsm@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2408-8935>;

Барашков Николай Николаевич — доктор химических наук, профессор. R&D Technical Services директор Micro-Tracers, Inc. 1370 Van Dyke Avenue Сан Франциско Калифорния, США 94124, USA

E-mail: nikolay@microtracers.com, <https://orcid.org/0000-0003-2494-9248>;

Сахно Тамара Викторовна — доктор химических наук, профессор. Полтавский Государственный Медицинский Университет, ул. Шевченко, 23, 36000, Полтава, Украина
E-mail: sakhno2001@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-7049-4657>;

Алдонгаров Ануар Акылханович — PhD доктор, доцент, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева. ул. Саптаева, 2, 010000, Астана, Казахстан
E-mail: enu-2010@yandex.kz, <https://orcid.org/0000-0001-7784-0524>.

Аннотация. Наночастицы, сочетающие оксид железа (выше 95 %) и оксид марганца (ниже 5 %), были приготовлены путем смешивания водных растворов хлорида железа (II), хлорида железа (III), хлорида кобальта и гидроксида аммония с последующим постоянным перемешиванием и нагреванием образующегося коллоидного Со-содержащего магнетита. Показана возможность формирования устойчивых суспензий нанотрейсеров на основе полученных наночастиц в водных растворах поверхностно-активных веществ, таких как олеат аммония и диметиламиновая соль олеиновой кислоты. Размер частиц нанотрейсера определяли методом отслеживания наночастиц (НТА), основанным на прямой визуализации и анализе наночастиц в водных средах,

содержащих два типа поверхностно-активных веществ. Установлено, что средний размер наночастиц не превышает 90 нм. Показана возможность использования приготовленного нанотрейсера для оценки качества смешивания жидких кормов в лабораторных и промышленных условиях.

Ключевые слова: нанотрейсер, смешанный оксид железа и кобальта, анализ отслеживания наночастиц, стабильная суспензия, размер частиц, жидкий корм

Introduction

The global feed industry produces more than 500 million tons per year. Producers waste labor, energy and capital when they mix feed longer than necessary to achieve a complete mixture (Rocha et al., 2022). Excessive mixing can also cause degradation of vitamins and drugs or lead to segregation (Sakhno et al., 2017). If the feed is not fully mixed, the feed portions will contain either too much or too little of the required ingredients. This excessive variability results in economic losses for feed users and can increase pharmaceutical residues. Test of periodic routine mixer is economically and ethically justified. The mid-1990s saw increased interest from regulators in many countries to ensure that medicated feeds are fully mixed and that all micronutrients are added as formulated.

The mixing of ingredients is an important process in feed production, as these ingredients must be combined effectively to provide the animals with a complete feed (McCoy et al., 1994). The mixing process must create a random distribution of ingredients in all mass portions to provide animals with adequate daily nutrient intake (Çiftci, Ercan 2003). With the increasing use of low inclusion ingredients such as industrial amino acids and other additives, efficient mixing has become even more important for an adequate supply of nutrients (Groesbeck et al., 2007). Furthermore, feed uniformity is desirable, if not essential, for maximum nutrient utilization, as each animal must receive a balanced feed containing nutrients and supplements in adequate concentrations to improve growth, productivity and health. Especially when animals are fed low daily intakes such as piglets and chicks.

Robinson (Robinson 2004) has proposed several types of indicators suitable for use as markers, containing information on the following: a) the designation of the crop variety associated with the agricultural product; b) a specific feature associated with the agricultural product; c) the genetic content of the agricultural product. The information contained in these markers, which may be made of paper, cardboard, plastic, rubber, metal, fiber, or other such material or materials, may be human readable, machine readable, or both. Human readable markers include alphanumeric characters, graphics, or several different color codes. This type of marker is also can be read machine. For example, an optical reader with optical reading character or other similar capabilities used to scan or display.

Over the past 30 years, ferromagnetic tracer particles, which could separate

from the bulk mixture much faster and easier than previous tracers using magnetic separators, have been successfully used in practice.

List of patents (Eisenberg 1979, 1980, 1987) describes the use of ferromagnetic Microtracers (MTs), patented and manufactured by the American company Micro-Tracers Inc. (San Francisco, USA). The composition of these MTs includes particles of iron or stainless steel (size from 150 to 350 microns), on the surface of which food dyes of various colors are adsorbed. It proposed to introduce ferromagnetic microtracers into mixing equipment as one of the microadditives at the recommended dosage of 50 g per ton of mixed feed.

The three types of existing iron-based micro tracers include the following:

1. Microtracer F (iron grits 25,000 particles per gram);
2. Microtracer FS (stainless steel, 50,000 particles per gram);
3. Microtracer RF (reduced iron powder > 1,000,000 particles per gram).

When compiling vitamin, mineral or medicinal premixes, the microtracer serves to indicate the presence of a premix in finished feeds, as well as to identify feed additives and feeds containing such additives, such as proprietary ones. In quantitative analysis, Microtracers™ can be used to document mixing efficiency as well as the adequacy of "cleaning" mixers and other feed production equipment from batch to batch.

It should be noted that iron-based microtracers are generally not applicable for validating liquid feed mixing, as well as for coding liquid additives such as enzymes and evaluating their distribution in premixes and final feeds. To meet the growing demand, we have developed and tested a magnetically retrievable nanotracer containing iron oxide nanoparticles (Barashkov et al., 2008).

An analysis of the literature shows that one of the promising methods for obtaining liquid ferromagnetic materials includes a two-stage process: 1) preparation of ferromagnetic liquids (ferrofluids); 2) dispersion of ferrofluid droplets in an aqueous medium with the participation of an appropriate surface-active substance (surfactant) (Kole, Khandeka, 2021; Irgibaeva et al., 2020; Barashkov et al., 2019).

The authors (Byland et al, 2022) report data on the magnetic properties of compounds based on cobalt with more than 33 at. % Co. They classified over 13,000 compounds by structure type, cobalt content, and ground magnetic state. Many compounds have been identified as potential ferromagnets, and the authors confirm their ferromagnetic ordering theoretically through calculations and experimentally through synthesis and characterization.

A modified procedure (Sudol, 1977) was used to prepare a ferrofluid based on mixed iron-cobalt oxides.

A mixture of 258 g of $\text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$, 21.7 g of $\text{CoCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ and 86.8 g of $\text{FeCl}_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$ added to 1000 ml of water and a homogeneous solution obtained while stirring with a mechanical stirrer. A mixture of 350 ml of 28% aqueous ammonia solution and 350 ml of water was added to the resulting solution over 75 seconds, which led to the formation of colloidal magnetite containing cobalt

oxide ($\text{Fe}_x\text{Co}_y\text{O}_z$). The temperature of the mixture gradually brought to 90°C with constant stirring. Separately prepared a solution of 40 ml of oleic acid v 460 ml of heptane and heated to 90°C. The colloidal magnetite solution and the oleic acid solution stirred for 15 minutes. The top organic layer removed. As a result, a stable ferromagnetic fluid with a density of 1.038 g/ml and a viscosity of 4.3 cP obtained.

In the next step, the ferrofluid is dispersed in a 0.5 % aqueous solution of a surfactant: ammonium oleate or dimethylamine salt of oleic acid at a ferrofluid: surfactant solution ratio of 1:100 to 4:100 (w/w). After filtration through Whatman filter paper with a pore size of 5 microns, the stable suspension used to determine the size of the nanoparticles of the composition and colorimetric determination of the content of cobalt in the nanoparticles. The content of cobalt in prepared samples was evaluated by retrieving the nanoparticles from this suspension by neodymium magnet covered with ABC plastic, and treating it with 20 % aqueous solution of HCl. The concentration of cobalt was determined by spectrophotometric analysis of blue complex formed by CoCl_2 , diethylamine, NH_4SCN , acetate ammonia in solution of dimethylsulfoxide with absorbance maximum at 667 nm (Barashkov et al., 2008).

Possible applications of the prepared stable suspension of ferromagnetic mixed iron-cobalt oxide nanoparticles related to testing the mixing quality of liquid feeds, as well as coding liquid additives such as enzymes and evaluating their distribution in premixes and finished feeds. $\text{Fe}_x\text{Co}_y\text{O}_z$ nanoparticles combining iron oxide (above 95 %) and cobalt oxide (below 5 %) as components of a magnetically extractable liquid marker (nanotracer slurry) tested in laboratory and production tests. A laboratory test with the addition of a suspension of nanotracer (mixed with a liquid enzyme added to the feed at a concentration of 110 ppm) at a level of 100 ppm to dry food, followed by the extraction of ferromagnetic nanoparticles and analysis of their cobalt oxide content, gives approximately 75 % nanotracer recovery.

Table 1 shows the results of industrial testing of the proposed liquid indicator, conducted with a major European manufacturer of pig feed. In this case, the addition of a 0.2 % (w/w) nanotracer stable suspension used to assess the mixing quality of several liquid ingredients in a 500 kg liquid pig feed mix.

The data presented in Table 1 interpreted using Poisson and Xi-squared statistics. Poisson statistics provides methods for determining the critical value of the response variable and the minimum detectable value in measurements of the Poisson distribution. This applies when both background noise and signal changes described by a Poisson distribution. The normal approximation used to approximate the Poisson distribution with the normal distribution according to ISO 11843-3 and ISO 11843-4. The accuracy of the normal approximation versus the exact Poisson distribution discussed in Annex C of these documents. ISO 11843-3:2003 gives a method for estimating the critical value of the response variable from the mean and standard deviation of repeated measurements of the

reference state in certain situations in which the value of the net state variable is zero, for all reasonable and foreseeable purposes (ISO11843–3: 2003).

Data presented in Table 1 consider a series of counts (optical density values) as a Poisson distribution, and estimate the probability value.

There are three types of assessment of the homogeneity of the obtained mixtures:

- a) Complete mixing (probability above 5 %);
- b) Intermediate (probability above 5 %);
- c) Incomplete mixing (probability below 1 %).

Table 1 – Results of an industrial test for the quality of mixing using a suspension of the $Fe_xCo_yO_z$ ferromagnetic nanotracer based on mixed iron-cobalt oxide nanoparticles.

Parameter	Number of analyzed sample											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cobalt concentration in the sample (absorbance units at 667 nm) x 10 ⁴	90	83	74	80	92	91	96	100	83	104	95	60
Average concentration value	87.33											
Standard deviation, +/-	12.18											
The coefficient of variation %, +/-	13.94											
Xi-square	18.67											
Probability, %	4.46											

Nanoparticle Tracking Analysis (NTA)

NTA is a newly developed method for real-time direct visualization and analysis of nanoparticles in liquids (Malloy, Carr 2006; Dragovic et al., 2011). Based on laser-illuminated microscopic technique, the Brownian motion of nanoparticles is analyzed in real time with a CCD camera, with each particle simultaneously but separately visualized and tracked by a dedicated particle-tracking image analysis program. The ability of NTA of simultaneously measure of particle size and particle scattering intensity allows separation of heterogeneous mixtures of particles, and, importantly, particle concentration directly estimated. Also the profile distribution of particle size obtained by NTA being a direct number/frequency distribution.

NTA (Nanoparticle Tracking Analysis) Methodology

A finely focused laser beam passes through an optical plane with a prism edge whose refractive index is such that the beam refracted at the interface between the plane and the liquid layer above it (Figure 1).

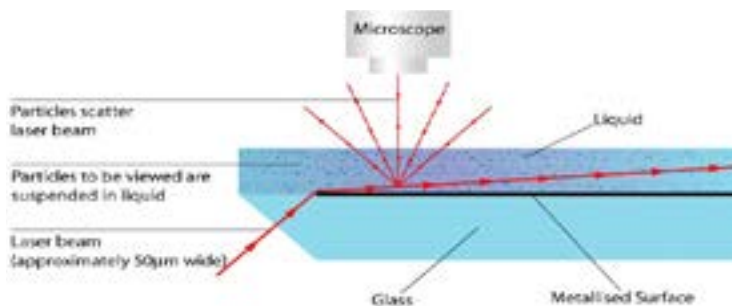


Fig. 1. – Methodology of the NTA method [Enfrin et al., 2021; Hole et al., 2013]

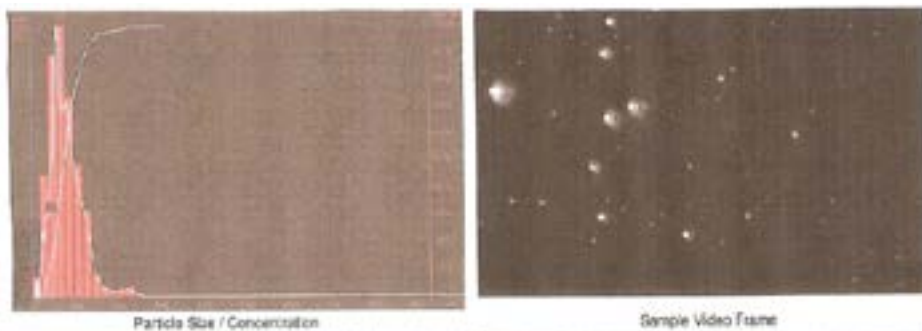
Due to refraction, the beam is concentrated on a low-profile area of intense illumination, in which the nanoparticles present in the liquid film can easily be visualized using a microscope objective with x20 magnification mounted on a conventional microscope optical chain. A CCD camera operating at 30 frames per second is used to capture video images with a field of view of approximately $100\ \mu\text{m} \times 80\ \mu\text{m}$.

The camera shows that the particles in the scattering volume move rapidly in Brownian motion. The NTA program simultaneously determines and tracks the center of each particle frame by frame. The average distance each particle moves along the x and y axes in the image is calculated automatically. From this value, the particle diffusion coefficient Dt can be obtained and, knowing the temperature of the sample and the viscosity of the solvent, the particle size can be calculated.

The hydrodynamic diameter (d_h) is calculated using the Stokes-Einstein equation.

Samples should contain between 10^7 and 10^9 particles/mL to be able to analyze a sufficient number of particles within a reasonable period (e.g., <60 seconds) from which a statistically significant and reproducible particle size distribution profile can be obtained, sample dilution is often required to achieve this concentration.

Fig. 2 – shows the results of an NTA analysis of a dispersion of the $\text{Fe}_x\text{Co}_y\text{O}_z$ nanotracer in a 0.5 % aqueous solution of dimethylamine salt of oleic acid (DMAOA).



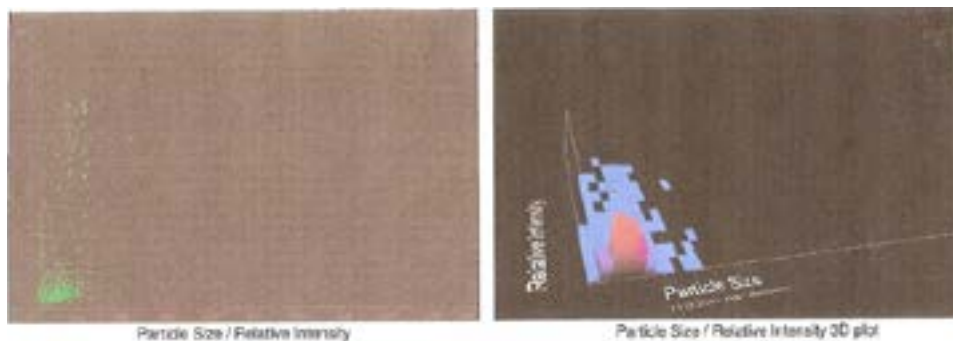


Fig. 2. – Results of NTA analysis of $Fe_xCo_yO_z$ nanotracer dispersion in 0.5% aqueous solution of dimethylamine salt of oleic acid.

Table 2 – Particle size distribution in nanotracer suspension dispersed in solutions with two different surfactants.

D Values *	Sample A (0.5% DMAOA solution)		Sample B (0.5 % ammonium oleate solution)	
	found	normalized to 100 %	found	normalized to 100 %
D10	41	12.1	76	13.9
D50	76	22.4	118	21.6
D90	128	37.6	210	38.5
D70	95	27.9	142	26.0
Total number of analyzed particles				
	340		546	

*) D10, D50, D70 и D90 are average particle sizes less than 10, 50, 70 and 90 nm, respectively.

The following is a description of the procedure for extracting the $Fe_xCo_yO_z$ ferromagnetic nanotracer from a sample of dry calf feed.

1000 g of dry calf food from a commercial supplier was mixed with 10 ml of a suspension containing nanotracer in 0.5 % ammonium oleate aqueous solution (Co content 80 mg/1000 ml). The mixture divided into 4 equal portions of 250 g each. Each portion placed in a 1000 ml plastic container with a mixture of 400 ml of deionized water and 20 g of a surfactant solution prepared by dissolving 1.79 g of oleic acid in 100 ml of 2.5 % ammonium hydroxide solution. A powerful neodymium magnet, 3.8 cm in diameter and 1.9 cm in height, was placed under the bottom of the plastic container. The mixture was mechanically stirred for 30 minutes with a stirrer (Arrow Engineering, Inc.). The contents of the plastic container were then carefully transferred (during this procedure, a Ne-magnet was kept under the container) into a beaker. The next portion of 250 g of food and liquid microtracer placed in the same container and the procedure repeated again. The same procedure used for the third and fourth servings. After processing the

fourth portion, the bottom of the container washed with 50-80 ml of deionized water. The black-brown ring of ferromagnetic sediment at the bottom of the plastic container contains the $\text{Fe}_x\text{Co}_y\text{O}_z$ nanotracer extracted from the feed sample along with the iron-containing particles originally present in the feed.

A mixture of 70 ml of deionized water and 10 g of a surfactant solution which was prepared by dissolving 1.79 g of oleic acid in 100 ml of 2.5 % ammonium hydroxide solution was added to a plastic container (with a mixture of ferromagnetic products extracted from the feed). The contents of the container mechanically stirred for 30 min using a stirrer, which resulted in dispersion of the nanotracer in the surfactant solution. The prepared suspension filtered from insoluble iron particles through Whatman No.1 filter paper.

Potential applications for the prepared stable suspension of the $\text{Fe}_x\text{Co}_y\text{O}_z$ nanotracer include the validation of liquid feed mixing, as well as the coding of liquid additives such as enzymes and the evaluation of their distribution in premixes and final feeds.

Conclusions

1. A method for obtaining a ferromagnetic nanotracer based on iron and cobalt oxides $\text{Fe}_x\text{Co}_y\text{O}_z$ has developed and the possibility of forming a stable nanotracer suspension in aqueous solutions of surfactants was shown.

2. The particle size of the nanotracer was determined by the NTA method based on direct visualization and analysis of nanoparticles in aqueous media containing two types of surfactants.

3. The possibility of using the $\text{Fe}_x\text{Co}_y\text{O}_z$ nanotracer to assess the quality of liquid feed mixing in laboratory and industrial conditions was demonstrated.

REFERENCES

Barashkov N., Eisenberg D., Irgibayeva I., Mendigaliyeva S., Barashkova I., 2019 — *Barashkov N., Eisenberg D., Irgibayeva I., Mendigaliyeva S., Barashkova I.* Ferromagnetic nano-sized microtracers and method of their identification, US Provisional patent application, 2019.

Barashkov N., Eisenberg D., Eisenberg S., Mohnke J., 2008 — *Barashkov N., Eisenberg D., Eisenberg S., Mohnke J.* Ferromagnetic microtracers and their use in feed applications, XII Int. Feed Technol. Symp. Novi Sad, 2008.

Byland J.K., Shi Y., Parker D.S., Zhao J., Ding S., Mata R., Magliari H.E., Palasyuk A., Bud'ko S.L., Canfield P.C., Klavins P., Taufour V., 2022 — *Byland J.K., Shi Y., Parker D.S., Zhao J., Ding S., Mata R., Magliari H.E., Palasyuk A., Bud'ko S.L., Canfield P.C., Klavins P., Taufour V.* Statistics on magnetic properties of Co compounds: A database-driven method for discovering Co-based ferromagnets, *Phys. Rev. Materials*, 6:063803. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevMaterials.6.063803>.

Çiftci I., Ercan A., 2003 — *Çiftci I., Ercan A.* Effects of diets of different mixing homogeneity on performance and carcass traits of broilers. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 12(1): 163–171. <https://doi.org/10.22358/jafs/67693/2003>.

Dragovic R.A., Gardiner C., Brooks A.S., Tannetta D.S., Ferguson D. J. P., Hole P., Carr R.J.G., Redman C.W.G., Harris A.L., Dobson P.J., Harrison P., Sargent I.L., 2011 — *Dragovic R.A., Gardiner C., Brooks A.S., Tannetta D.S., Ferguson D. J. P., Hole P., Carr R.J.G., Redman C.W.G., Harris A.L., Dobson P.J., Harrison P., Sargent I.L.* Sizing and phenotyping of cellular vesicles using Nanoparticle Tracking Analysis, *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 7(6):780–788. DOI: [10.1016/j.nano.2011.04.003](https://doi.org/10.1016/j.nano.2011.04.003).

- Eisenberg S., 1987 — *Eisenberg S.* Microingredient containing tracer, US Pat.4,654,165, 1987.
- Eisenberg S., 1980 — *Eisenberg S.* Protected iron tracer composition and method of making, US Pat. 4,188,408, 1980.
- Eisenberg S., 1979 — *Eisenberg S.* Tracer-containing composition, US Pat.4,152,271, 1979.
- Enfrin M., Hachemi C., Hodgson P.D., Jegatheesan V., Vrouwenvelder J., Callahan D.L., Dumée L.F., 2021 — *Enfrin M., Hachemi C., Hodgson P.D., Jegatheesan V., Vrouwenvelder J., Callahan D.L., Dumée L.F.* Nano/micro plastics – Challenges on quantification and remediation: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 42:102128. doi: 10.1016/j.jwpe.2021.102128.
- Groesbeck C.N., Goodband R.D., Tokach M.D., Dritz S.S., Nelssen J.L., DeRouchev J.M., 2007 — *Groesbeck C.N., Goodband R.D., Tokach M.D., Dritz S.S., Nelssen J.L., DeRouchev J.M.* Diet mixing time affects nursery pig performance, *Journal of Animal Science*, 85(7):1793–1798. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0019>.
- Hole P., Sillence K., Hannell C., Maguire M.C., Roesslein M., 2013 — *Hole P., Sillence K., Hannell C., Maguire M.C., Roesslein M.* Interlaboratory comparison of size measurements on nanoparticles using nanoparticle tracking analysis (NTA), *J. Nanoparticle Res.* 15 (12):2101. DOI: 10.1007/s11051-013-2101-8
- Irgibaeva I., Barashkov N., Mantel A., Mendigaliyeva S., 2020 — *Irgibaeva I., Barashkov N., Mantel A., Mendigaliyeva S.* Способ получения ферромагнитных наночастиц Патент.
- ISO 11843-3:2003. Capability of detection — Part 3: Methodology for determination of the critical value for the response variable when no calibration data are used.
- Kole M., Khandeka S., 2021 — *Kole M., Khandeka S.* Engineering applications of ferrofluids: A review, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 537(1)168222. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2021.168222>.
- Malloy A., Carr B., 2006 — *Malloy A., Carr B.* NanoParticle Tracking Analysis - The Halo™ System. *Particle & Particle Systems Characterization*, 23(2):197–204. doi:10.1002/ppsc.200601031.
- McCoy R.A., Behnke K.C., Hancock J.D., McCellhiney R.R., 1994 — *McCoy R.A., Behnke K.C., Hancock J.D., McCellhiney R.R.* Effect of mixing uniformity on broiler chick performance, *Poultry Science*, 73(3):443–451. <https://doi.org/10.3382/ps.0730443>.
- Robinson M.C., 2004 — *Robinson M.C.* System, apparatus and method for marking and tracking bulk flowable material, US Pat. 6,796,504, 2004.
- Rocha A.G., Dilkin P., Neto R.M., Schaefer C., Mallmann C.F., 2022 — *Rocha A.G., Dilkin P., Neto R.M., Schaefer C., Mallmann C.F.* Growth performance of broiler chickens fed on feeds with varying mixing homogeneity, *Veterinary and Animal Science*, 17:100263, <https://doi.org/10.1016/j.vas.2022.100263>.
- Sakhno T., Korotkova I., Barashkov N., 2017 — *Sakhno T., Korotkova I., Barashkov N.* The investigation of segregation of ferromagnetic microtracers from premixes: results of testing in model conditions and during of delivery and storage, *Grain Products and Mixed Fodder's*, 17(2):28–33. <https://doi.org/10.15673/gpmf.v17i2.527>.
- Sudol J.J., 1977 — *Sudol J.J.* Superparamagnetic wax compositions useful in magnetic levitation separations, US Pat 4,025,448, 1977.

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY
OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
ISSN 2224-5227
Volume 345, Number 1 (2023), 293–303
<https://doi.org/10.32014/2023.2518-1483.202>
UDC 637.146.34

© **Zh.D. Tanatarova^{1*}, E.K. Assembayeva¹, Z.Zh. Seidakhmetova¹,
D.E. Nurmukhanbetova², A.B. Toktamyssova³, 2023**

¹Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan;

²Narxoz University, Almaty, Kazakhstan;

³Kazakh-Russian Medical University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: tanatarrova@gmail.com

STUDY OF QUALITY AND SAFETY OF PROBIOTIC DAIRY PRODUCTS

Tanatarova Zh.D. — master's student, 2nd year. Almaty Technological University. Department of Food Biotechnology. Almaty, Kazakhstan

E-mail: tanatarrova@gmail.com. ORCID: 0000-0003-1858-1950;

Assembayeva E.K. — PhD. Almaty Technological University. Department of Food Biotechnology. Almaty, Kazakhstan

E-mail: elmiraasembaeva@mail.ru. ORCID: 0000-0001-7964-7736;

Seidakhmetova Z.Zh. — doctor of biological sciences. Almaty Technological University. Department of Food Biotechnology. Almaty, Kazakhstan

E-mail: s.zaure@bk.ru. ORCID: 0000-0002-9213-7391;

Nurmukhanbetova D.E. — candidate of Technical Sciences. Narxoz University. Almaty, Kazakhstan

E-mail: dinara.nurmukhanbetova@narxoz.kz. ORCID: 0000-0002-8939-6325;

Toktamyssova A.B. — candidate of biological sciences. Kazakh-Russian Medical University. Almaty, Kazakhstan

E-mail: a.toktamys@mail.ru. ORCID: 0000-0001-9215-8291.

Abstract. Creating conditions for improving the well-being of people is a priority in the socio-economic policy of any state. The quality and safety of food raw materials and food is an important means of maintaining and promoting health, preventing the development of non-communicable diseases and increasing life expectancy. Goat milk as a raw material for the industrial production of dairy products has not been studied enough. Science-based technologies for the production of products based on goat's milk have not been sufficiently developed in the country. The main raw material in the production of fermented milk products is cow's milk. However, at present, goat breeding is developing rapidly. According to a number of authors, goat's milk has anti-anemic properties and is used in the treatment of gastrointestinal diseases and metabolic disorders. In this regard, the creation of special fermented milk products from goat's milk containing beneficial intestinal microflora is an urgent problem of great medical and national economic importance. The purpose of the research work is to expand the range of dairy

products with probiotic properties obtained from goat milk, to analyze the quality and safety. Therefore, in this work, the quality and safety of probiotic dairy products derived from goat's milk were studied. The results of experimental studies have shown that it is possible to obtain valuable, easily digestible, safe, diverse probiotic lactic acid products with high nutritional and biological value from goat's milk.

Keywords: goat milk, probiotic, yogurt, narine, quality, microbiological safety, food safety

© **Ж.Д. Танатарова^{1*}, Э.К. Асембаева¹, З.Ж. Сейдахметова¹, Д.Е. Нурмуханбетова², А.Б. Токтамысова³, 2023**

¹Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан;

²Нархоз университеті, Алматы, Қазақстан;

³Қазақстан-Ресей медициналық университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: tanatarrova@gmail.com

ПРОБИОТИКАЛЫҚ СҮТ ӨНІМДЕРІНІҢ САПАСЫ МЕН ҚАУІПСІЗДІГІН ЗЕРТТЕУ

Танатарова Ж.Д. — 2 курс магистранты. Алматы технологиялық университеті. «Тағамдық биотехнология» кафедрасы. Алматы, Қазақстан

Электрондық пошта: tanatarrova@gmail.com. ORCID: 0000-0003-1858-1950;

Асембаева Э.К. — PhD. Алматы технологиялық университеті. «Тағамдық биотехнология» кафедрасы. Алматы, Қазақстан

E-mail: elmiraasembaeva@mail.ru. ORCID: 0000-0001-7964-7736;

Сейдахметова З.Ж. — биология ғылымдарының докторы. Алматы технологиялық университеті. «Тағамдық биотехнология» кафедрасы, Алматы, Қазақстан

E-mail: s.zaure@bk.ru. ORCID: 0000-0002-9213-7391;

Нурмуханбетова Д.Е. — техника ғылымдарының кандидаты. Нархоз университеті. Алматы, Қазақстан

E-mail: dinara.nurmukhanbetova@narхоз.kz. ORCID: 0000-0002-8939-6325;

Токтамысова А.Б. — биология ғылымдарының кандидаты. Қазақстан-Ресей медициналық университеті. Алматы, Қазақстан

E-mail: a.toktamys@mail.ru. ORCID: 0000-0001-9215-8291.

Аннотация. Халықтың әл-ауқатын арттыруға жағдай жасау кез келген мемлекеттің әлеуметтік-экономикалық саясатының басым бағыты болып табылады. Азық-түлік шикізаты мен тағам өнімдерінің сапасы мен қауіпсіздігі денсаулықты сақтау мен нығайтудың, жұқпалы емес аурулардың дамуын болдырмаудың және өмір сүру ұзақтығын арттырудың маңызды құралы болып табылады. Ешкі сүті, сүт өнімдерінің өнеркәсіптік өндірісі үшін шикізат ретінде, жеткілікті зерттелмеген. Ешкі сүтіне негізделген өнімдердің ғылыми негізделген технологиялары жасалған жоқ. Сүтқышқылды өнімдерді өндіруде негізгі шикізат сиыр сүті болып табылады. Алайда қазіргі таңда ешкі шаруашылығы қарқынды дамып келеді. Бірқатар авторлардың пікірінше, ешкі сүтінің анемияға қарсы қасиеттері бар және ол асқазан-ішек аурулары мен зат алмасу бұзылыстарын емдеуде қолданылады. Осыған байланысты,

құрамында пайдалы ішек микрофлорасының түрлері бар ешкі сүтінен арнайы сүт өнімдерін жасау маңызды медициналық және ұлттық экономикалық маңызы бар өзекті мәселе болып табылады. Зерттеу жұмысының мақсаты ешкі сүтінен алынатын пробиотикалық қасиеттері бар сүт өнімдерінің ассортиментін көбейту, олардың сапасы мен қауіпсіздік көрсеткіштеріне талдаулар жүргізу. Тәжірибелік зерттеулердің нәтижелері, ешкі сүтінен бағалы, жеңіл сіңетін тағамдық және биологиялық құндылығы жоғары, қауіпсіз әртүрлі пробиотикалық сүтқышқылды өнімдер алуға болатынын көрсетті.

Түйін сөздер: ешкі сүті, пробиотик, йогурт, наринэ, сапа, микробиологиялық қауіпсіздік, азық-түлік қауіпсіздігі

© **Ж.Д. Танатарова^{1*}, Э.К. Асембаева¹, З.Ж. Сейдахметова¹, Д.Е. Нурмуханбетова², А.Б. Токтамысова³, 2023**

¹Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан;

²Университет Нархоз, Алматы, Казахстан;

³Казахстанско-Российский медицинский университет,
Алматы, Казахстан.

E-mail: tanatarrova@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ПРОБИОТИЧЕСКИХ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

Танатарова Ж.Д. — магистрант 2 курса. Алматинский технологический университет, кафедра «Пищевая биотехнология». Алматы, Казахстан

E-mail: tanatarrova@gmail.com. ORCID: 0000-0003-1858-1950;

Асембаева Э.К. — PhD. Алматинский технологический университет, кафедра «Пищевая биотехнология». Алматы, Казахстан

E-mail: elmiraasembaeva@mail.ru. ORCID: 0000-0001-7964-7736;

Сейдахметова З.Ж. — доктор биологических наук. Алматинский технологический университет, кафедра «Пищевая биотехнология». Алматы, Казахстан

E-mail: s.zaure@bk.ru. ORCID: 0000-0002-9213-7391;

Нурмуханбетова Д.Е. — кандидат технических наук. Университет Нархоз. Алматы, Казахстан

E-mail: dinara.nurmukhanbetova@narхоз.kz. ORCID: 0000-0002-8939-6325;

Токтамысова А.Б. — кандидат биологических наук. Казахстанско-Российский Медицинский Университет. Алматы, Казахстан

E-mail: a.toktamys@mail.ru. ORCID: 0000-0001-9215-8291.

Аннотация. Создание условий для повышения благосостояния людей является приоритетным направлением социально-экономической политики любого государства. Качество и безопасность продовольственного сырья и продуктов питания является важным средством сохранения и укрепления здоровья, предупреждения развития неинфекционных заболеваний и увеличения продолжительности жизни. Козье молоко как сырье для промышленного производства молочной продукции изучено недостаточно. Не разработаны научно обоснованные технологии производства продуктов на

основе козьего молока. Основным сырьем при производстве кисломолочных продуктов является коровье молоко. Однако в настоящее время козоводство стремительно развивается. По данным ряда авторов, козье молоко обладает антианемическими свойствами и применяется при лечении желудочно-кишечных заболеваний и нарушений обмена веществ. В связи с этим создание специальных кисломолочных продуктов из козьего молока, содержащих полезную микрофлору кишечника, является актуальной проблемой, имеющей важное медицинское и народнохозяйственное значение. Цель научно-исследовательской работы расширить ассортимент молочных продуктов с пробиотическими свойствами, получаемых из козьего молока, провести анализ качества и безопасности. Результаты экспериментальных исследований показали, что из козьего молока можно получать ценные, легкоусвояемые, безопасные, разнообразные пробиотические кисломолочные продукты с высокой пищевой и биологической ценностью.

Ключевые слова: козье молоко, пробиотик, йогурт, наринэ, качество, микробиологическая безопасность, безопасность пищевых продуктов

Кіріспе

Халықты функционалды азық-түлікпен қамтамасыз ету мәселесін шешуде жетекші рөлді сүт өнеркәсібі алады. Сүт теңдестірілген құрамы бар, тағамдық және биологиялық құндылығы жоғары өнімдерді жасауға, сүт өнімдерінің ассортиментін кеңейтуге мүмкіндік береді. Ең кең таралған және танымал функционалдық тамақ өнімдеріне, ең алдымен, адамның микробтық экологиясын, ең алдымен оның асқазан-ішек жолдарының микрофлорасын сақтауға және қалпына келтіруге көмектесетін өнімдер жатады. Бүгінгі күні азық-түлік өнімдерінің кең ассортименті ішінен сатып алушы көбінесе табиғилығы, денсаулыққа пайдасы, әдеттен тыс дәмі, ыңғайлылығы және т.б. сияқты қосымша қасиеттері мен артықшылығы барларын тандайды. Көптеген әлемдік өндірушілер осы үрдістерді ұстануға тырысады және адамдар үшін жаңа шешімдер ұсынады (Канарейкин и др., 2016).

Сүт өнімдерін өндірудің негізгі шикізаты – сыыр сүті. Дүние жүзінде ол бірінші орында және 83,5 % құрайды, ал ешкі сүті 3 орында және 2,2 % құрайды. Ешкі сүті қоректік заттардың сапалық және сандық арақатынасына деген қажеттілікті қанағаттандырады. Оның антиаллергиялық қасиеттері бар, бұл ең алдымен оның ақуыздық құрамына байланысты (Щетинина и др., 2020; Гаврилова и др., 2019; Маханбетова және т.б., 2022; Гаврилова и др., 2019).

Жоғары тұтынушылық сапалар, оны геронтологияда қолданудың тиімділігі, ешкі сүтін ана сүтін алмастырғыш ретінде пайдаланудың дәлелденген тиімділігі көпжылдық тәжірибемен және соңғы зерттеулермен расталған, бұл өнімді нарықта иммуномодуляциялық қасиеттері бар емдік-профилактикалық өнім ретінде ұсыныстар жасауға мүмкіндік береді (Мироненко и др., 2015; Скиба и др., 2017; Боровик и др., 2017; Shao et al., 2014).

Ешкі сүтін өңдеу өнімдері өндірісінің тұрақты жұмыс істеуі үшін оның

сыыр сүтінен ерекшеленетін физика-химиялық қасиеттерін ескеру қажет. Ешкі сүті сыыр сүтінен май фракциясының дисперсиясының жоғарылауымен (май түйіршіктерінің мөлшері 10–15 есе аз) және майының құрамында қысқа тізбекті қанықпаған қышқылдардың (линол және линолен қышқылдары) көп болуымен ерекшеленетіні белгілі. Ешкі сүтінің ақуызының негізгі фракциясы β -казеинмен (сыыр – α s-казеиндер), ал сарысу ақуыздары α -лактоальбуминмен (сыыр сүтінде – β -лактоглобулин) болуымен ерекшеленеді (Гетманец, 2016; Скидан и др., 2015). Бұл физика-химиялық айырмашылықтарды технологиялық үрдісте ескеру қажет, өйткені олар сүттің технологиялық процестерінде болатын биохимиялық және реологиялық өзгерістердің айырмашылығын тудырады.

Азық-түлік өнімдерінің сапасын және оны өндіру процесін бақылау сапаны басқарудың құрамдас бөлігі болып табылады және жоғары сапалы өнім өндірудің негізі болып табылады.

Зерттеу жұмысының мақсаты ешкі сүтінен алынатын пробиотикалық қасиеттері бар сүт өнімдерінің ассортиментін көбейту, олардың сапасы мен қауіпсіздік көрсеткіштеріне талдаулар жүргізу.

Зерттеу нысаны мен әдістері

Зерттеу нысаны ретінде ешкі сүті үлгілері, Украинада «VIVO» компаниясында шығарылған құрамы *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium lactis* тұратын йогурт және *Lactobacillus acidophilus* *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus* *Streptococcus thermophilus* *Bifidobacterium lactis* (2 штамм) тұратын наринэ сүтқышқылды өнімдерін алуға алынған ұйытқылар; ешкі сүтінен дайындалған йогурт пен наринэ алынды.

№1 – йогурт;

№2 – наринэ.

Осы дайын ұйытқыларды ешкі сүтіне қосып, $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$ температурада 9–10 сағат ашытылып, пробиотикалық сүтқышқылды өнімдер алынып, осы өнімдердің сапалық көрсеткіштері анықталды.

Зерттеу барысында келесі классикалық әдістер қолданылды:

Сүтқышқылды өнімдердегі ақуыздың массалық үлесі МЕМСТ 34454 бойынша Къельдал әдісімен анықталды (ГОСТ 34454–2018, 2018).

Майдың массалық үлесі МЕМСТ 5867 сәйкес қышқылдық әдіспен анықталды (ГОСТ 5867–90, 2009).

Лактозаның массалық үлесі МЕМСТ Р 54760–2011 өнімділігі жоғары сұйық хроматография әдісімен анықталды (ГОСТ Р 54760–2011, 2019).

Титрлеу қышқылдығы МЕМСТ 3624 бойынша анықталды. Әдіс фенолфталеин индикаторының қатысуымен өнімнің құрамындағы қышқылдар мен олардың тұздарын күйдіргіш сілтінің ерітіндісімен бейтараптандыруға негізделген (ГОСТ 3624–92, 2011).

Фосфотаза МЕМСТ 3623 бойынша анықталды (ГОСТ 3623–2015, 2019).

Зерттеу жұмыстары Алматы технологиялық университетінің «Тағамдық

биотехнология» кафедрасының және «Тамақ қауіпсіздігі» ғылыми зерттеу институтының зертханасында жүргізілді.

Тәжірибелік зерттеулер 5–7 рет қайталана отырып орындалып, орташа арифметикалық мәндері алынды.

Зерттеу нәтижелері және оны талдау

Талдаудың бастапқы кезеңінде ешкі сүтінен дайындалған пробиотикалық сүтқышқылды өнімдердің сапалық көрсеткіштерін анықтау мақсатында кейбір физика-химиялық көрсеткіштеріне талдаулар жүргізілді, нәтижесі төмендегі 1-кестеде келтірілген.

Кесте 1. Пробиотикалық сүтқышқылды өнімдердің физика-химиялық көрсеткіштері

Көрсеткіштер	№1	№2
Ақуыздың массалық үлесі, %	3,46±0,03	3,42±0,02
Майдың массалық үлесі, %	4,34±0,02	4,30±0,04
Лактозаның массалық үлесі, %	3,0±0,03	2,6±0,02
Титрлеу қышқылдығы, °Т	78,5±0,5	87,2±0,5
Фосфатаза	табылмады	табылмады

Кестедегі нәтижелерден йогурт үлгісінде ақуыздың массалық үлесі – 3,46±0,03%, майдың массалық үлесі – 4,34±0,02 %, лактозаның массалық үлесі – 3,0±0,03 %; наринэ үлгісінде ақуыздың массалық үлесі – 3,42±0,02 %, майдың массалық үлесі – 4,30±0,04 %, лактозаның массалық үлесі – 2,6±0,02 % болды. Титрлеу қышқылдығы йогуртта 78,5±0,5°Т көрсетсе, наринэде 87,2±0,5 °Т көрсетті.

Зерттелген үлгілерде фосфатаза ферменті табылмады, бұл термиялық өңдеу режимінің сақталуын, яғни пастерлеу үрдісінің дұрыс жүргендігін айқындайды.

Тамақтанудың халық денсаулығына әсері тұтынылатын тамақ өнімдерінің түрі мен массасымен ғана емес, сонымен бірге олардың құрамындағы улы заттардың (ауыр металдар, пестицидтер, микотоксиндер, антибиотиктер) болатын қауіптілігімен де анықталады.

Шикізат пен азық-түлік өнімдерінің сапасы мен қауіпсіздігі, халықтың денсаулығы, еңбек белсенділігі және сайып келгенде, ел экономикасының даму қарқыны химиялық-технологиялық, органолептикалық және микробиологиялық көрсеткіштермен бағаланады.

Микробиологиялық көрсеткіштер тағамдық өнімнің сапасын ғана емес, ең алдымен оның қауіпсіздігін де бағалауға мүмкіндік береді. Олар зерттелетін өнімдегі микроорганизмдердің сандық және сапалық құрамын қамтиды. Көбінесе зиянсыз болып көрінетін тағам өнімдері ауыр тамақтан улануды немесе тіпті тамақ инфекциясын тудыруы мүмкін. Азық-түлік өнімінде кездесетін микроорганизмдер оған шикізаттан бастап дайын өнімге дейін, оның ішінде өнімді орау, сақтау және тасымалдауды қоса алғанда,

дайындаудың бүкіл технологиялық тізбегі бойына ене алады (Мойсеяк и др., 2022).

Жұмысты орындау барысында ешкі сүтінен алынған пробиотикалық сүтқышқылды өнімдердің микробиологиялық қауіпсіздігін анықтау мақсатында олардың құрамындағы мезофильді аэробты және факультативті анаэробты микроорганизмдер мөлшері (МАФАНММ), ішек таяқшасы тобындағы бактериялар (ІТТБ; колиформдар), патогенді бактериялардың, соның ішінде сальмонеллалар, *Staphylococcus aureus*, ашытқылар, зендердің болуына талдаулар жүргізілді, нәтижесі 2-кестеде келтірілген.

Кесте 2. Пробиотикалық сүтқышқылды өнімдердің микробиологиялық көрсеткіштері

Микробиологиялық көрсеткіштер	Норма	№1	№2	Талдау әдістері
МАФАНММ, КТБ/см ³ (г)	1x10 ⁵	1,2x10 ³	1,4x10 ³	МЕМСТ 1044.15.94
1г өнімдегі ішек таяқшасы тобындағы бактериялар (колиформдар)	Рұқсат етілмейді	Табылмады	Табылмады	МЕМСТ 32901–2014
Зең саңырауқұлақтарының мөлшері, 1 г өнімдегі КТБ/см ³ (г), көп емес	50	28	27	МЕМСТ 33566–2015
Ашытқы мөлшері, 1 г өнімдегі КТБ/ см ³ (г), көп емес	100	52	51	МЕМСТ 33566–2015
Патогенді микроорганизмдер, соның ішінде сальмонелла, 25 г өнімде	Рұқсат етілмейді	Табылмады	Табылмады	МЕМСТ 31659–2012
<i>Staphylococcus aureus</i> 1 г өнімде	Рұқсат етілмейді	Табылмады	Табылмады	МЕМСТ 30347–2016

Микробиологиялық зерттеу нәтижелерінен пробиотикалық сүтқышқылды өнімдерде ішек таяқшасы тобындағы бактериялар, патогенді микроорганизмдер, соның ішінде сальмонеллалар, *Staphylococcus aureus* табылмады, ал мезофильді аэробты факультативті анаэробты микроорганизмдер, ашытқы мен зең саңырауқұлақтары рұқсат етілген шектен аспады.

ФАО/ДДСҰ біріккен комиссиясы әзірлеген халықаралық талаптарға сәйкес, ең алдымен, азық-түлік өнімдеріндегі уытты элементтер – Pb, Cd, As, Hg, Zn, Cu құрамын бақылау қажет. Қазіргі уақытта азық-түлік шикізаты мен азық-түлік өнімдерінің әртүрлі топтарындағы улы элементтер құрамының рұқсат етілген деңгейлері анықталды. Бұл жұмыста пробиотикалық сүтқышқылды өнімдердің құрамындағы барлық улы элементтерден қорғасын, кадмий, мышьяк және сынап мөлшері анықталды.

Афлатоксиндер тіпті кішігірім дозаларда да өте қауіпті: өткір улануды тудырмай, олар бауырдың және басқа органдардың қатерлі ісіктерін қоздыруға қабілетті, өйткені бұл токсиндер канцерогендік әсерге ие. Бүгінгі күні бір-бірінен канцерогендік дәрежесі бойынша ерекшеленетін афлатоксиндердің 10 изомері белгілі.

Пестицидтер – өсімдіктердің зиянкестерімен және ауруларымен, арамшөптермен, сақталған ауыл шаруашылығы өнімдерінің зиянкестерімен,

үй зиянкестерімен және жануарлардың сыртқы паразиттерімен күресу үшін, сондай-ақ өсімдіктердің өсуін реттеу, егін жинау алдында жою және жапырақтарды кептіру үшін қолданылатын химиялық немесе биологиялық препараттардың үлкен тобы.

Жұмыстың барысында сонымен қатар пробиотикалық сүтқышқылды өнімдердің кейбір қауіпсіздік көрсеткіштері; уытты элементтер, микотоксиндер, пестицидтер анықталды, нәтижесі төмендегі 3-кестеде келтірілген.

Кесте 3. Пробиотикалық сүтқышқылды өнімдердің қауіпсіздік көрсеткіштері

Көрсеткіштер	Аттары	Рұқсат етілген деңгейлер, мг/кг (л), артық емес	№ 1	№2	Талдау әдістері
Уытты элементтер:	корғасын	0,1	0,002	0,002	МЕМСТ 30178–96
	мышьяк	0,05	табылмады		МЕМСТ Р 51766–2011
	кадмий	0,03	0,003	0,002	МЕМСТ 30178–96
	сынап	0,005	табылмады		МЕМСТ 26927–86
Микотоксиндер:	афлатоксин М1	0,0005	табылмады		МЕМСТ 30711–2011
Пестицидтер:	гексахлорциклогексан (α, β, γ - изомерлер)	0,05	табылмады		МЕМСТ 23452–2015
	ДДТ және оның метаболиттері	0,05	табылмады		МЕМСТ 23452–2015

3-кестедегі алынған нәтижелерден сүт өнімдерінде корғасын, кадмий рұқсат етілген деңгейде болғанын, ал мышьяк, сынап, афлатоксин М1, гексахлорциклогексан, ДДТ және оның метаболиттері табылмағанын көруге болады.

Көбінесе антибиотиктер азық-түлік өнімдеріне жануарлардан алынатын шикізаттан түседі. Сүтте стрептомицин, пенициллин және басқа антибиотиктердің болуы осы препараттарды жануарларды емдеуге қолданумен байланысты болуы мүмкін. Антибиотиктерді профилактикалық және өсуді ынталандыратын агенттер ретінде интенсивті қолдану және жануарларды емдегеннен кейін сүтті қабылдамау мерзімдерін бұзу нәтижесінде алынған шикі сүтте осы препараттардың қалдық мөлшері жиі болуының себебі болып табылады, бұл: адам ағзасында аллергиялық реакцияларды тудырады, ас қорыту жүйесін бұзады, дисбактериоз тудырады; сүтті өңдеудің технологиялық процесін бұзады (ірімшік және ашытылған сүт өнімдерін өндіру); сүт өңдеу кәсіпорындарына экономикалық зиян келтіреді; бактериологиялық зерттеулер жүргізуде қиындықтар туғызады. Белгілі бір ауылшаруашылық өніміндегі антибиотиктердің қалдық мөлшерін анықтап қана қоймай, олардың азық-түлік өнімдері мен шикізатқа түсу себептерін анықтап, кейіннен осы себептерді жою үшін қажетті шараларды қабылдау қажет.

Жұмыста пробиотикалық сүтқышқылды өнімдердің құрамындағы антибиотиктер мөлшерін анықтау үшін талдаулар жүргізілді, нәтижесі төмендегі 4-кестеде келтірілген.

Кесте 4. Пробиотикалық сүтқышқылды өнімдердің құрамындағы антибиотиктер мөлшері

Антибиотиктер	Норма	№1	№2	Талдау әдістері
Левомецетин	Рұқсат етілмейді (0,003 бірлік/г аз)	табылмады	табылмады	МЕМСТ 33526–2015
Тетрациклин тобы	Рұқсат етілмейді (0,01 бірлік/г аз)	табылмады	табылмады	МЕМСТ 33526–2015
Стрептомицин	Рұқсат етілмейді (0,5 бірлік/г аз)	табылмады	табылмады	МЕМСТ 33526–2015
Пенициллин	Рұқсат етілмейді (0,004 бірлік/г аз)	табылмады	табылмады	МЕМСТ 33526–2015

Алынған талдау нәтижелерінен ешкі сүтінен дайындалған пробиотикалық сүтқышқылды өнімдердің құрамынан антибиотиктер табылмады.

Қорытынды

Тәжірибелік зерттеулердің нәтижелері, ешкі сүтінен бағалы, жеңіл сіңетін, тағамдық және биологиялық құндылығы жоғары, қауіпсіз әртүрлі пробиотикалық сүтқышқылды өнімдер алып, ешкі сүтінен алынатын өнімдердің ассортиментін көбейтуге болатынын көрсетті.

ӘДЕБИЕТТЕР

Канарейкин В.И., Ребезов М.Б., Бикбова Р.А., 2016 - *Канарейкин В.И., Ребезов М.Б., Бикбова Р.А.* Новый функциональный молочно-растительный йогурт // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства, 19 (2), 255–260.

Щетинина Е.М., Гаврилова Н.Б., Чернопольская Н.Л., 2020 - *Щетинина Е.М., Гаврилова Н.Б., Чернопольская Н.Л.* Разработка технологии обогащенного йогурта на основе козьего молока-сырья // Ползуновский вестник, (2), 75–77.

Гаврилова Н.Б., Щетинина Е.М., 2019 - *Гаврилова Н.Б., Щетинина Е.М.* Козье молоко – биологически полноценное сырьё для специализированной пищевой продукции // Хранение и переработка сельхозсырья, (1), 66–75.

Маханбетова К.М., Асембаева Э.К., Нурмуханбетова Д.Е., Габдуллина Е.Ж., Илияқызы М., 2022 - *Маханбетова К.М., Асембаева Э.К., Нурмуханбетова Д.Е., Габдуллина Е.Ж., Илияқызы М.* Ешкі сүті – биологиялық толыққұнды шикізат // ҚР ҰҒА жаңалықтары. Химия және технология ғылымдарының сериясы. (4), 96–106. <https://doi.org/10.32014/2518-1491.138>.

Гаврилова Н.Б., Щетинина Е.М., 2019 - *Гаврилова Н.Б., Щетинина Е.М.* Перспективы производства специализированной пищевой продукции на основе молока коз Алтайского края // Молочная промышленность. (6), 56–57.

Мироненко И.М. Усатюк Д.А., Бондаренко Н.И., 2015 - *Мироненко И.М. Усатюк Д.А., Бондаренко Н.И.* Козье молоко. Как сказку сделать былью // Сыроделие и маслоделие. (6), 19–22.

Скиба Е.А., Шавыркина Н.А., Кукарина Е.А., 2017 - *Скиба Е.А., Шавыркина Н.А., Кукарина Е.А.* Биотехнологические особенности получения йогурта из козьего молока // Ползуновский вестник. (4), 36–41.

Боровик Т.Э., Семёнова Н.Н., Лукоянова О.Л., 2017 - *Боровик Т.Э., Семёнова Н.Н., Лукоянова*

О.Л. Эффективность использования адаптированной смеси на основе козьего молока в питании здоровых детей первого полугодия жизни: результаты многоцентрового перспективного сравнительного исследования // Вопросы современной педиатрии. 16 (3), 226–234.

Shao J. Zhou, Thomas Sullivan, Robert A. Gibson, Bo Lo`nnerdal, Colin G. Prosser, Dianne J. Lowry6 and Maria Makrides, 2014 - *Shao J. Zhou, Thomas Sullivan, Robert A. Gibson, Bo Lo`nnerdal, Colin G. Prosser, Dianne J. Lowry6 and Maria Makrides* Nutritional adequacy of goat milk infant formulas for term infants: a doubleblind randomised controlled trial // *British Journal of Nutrition* 111, 1641–1651. doi:10.1017/S0007114513004212.

Гетманец В.Н., 2016 - *Гетманец В.Н.* Кисломолочные напитки из козьего молока // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 11(145), 169–172.

Скидан И.Н., Гуляев А.Е., Казначеев К.С., 2015 - *Скидан И.Н., Гуляев А.Е., Казначеев К.С.* Жировые глобулы как детерминанты пищевой и биологической ценности козьего молока // *Вопросы питания*. 84(2), 81–95.

ГОСТ 34454–2018 Продукция молочная. Определение массовой доли белка методом Кельдаля. – Москва: Стандартинформ, 2018. – 12 с.

ГОСТ 5867–90 Молоко и молочные продукты. Методы определения жира. - Москва: Стандартинформ, 2009. – 14 с.

ГОСТ Р 54760–2011 Продукты молочные составные и продукты детского питания на молочной основе. Определение массовой концентрации моно- и дисахаридов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 11 с.

ГОСТ 3624–92. Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы определения кислотности. – Москва: Издательство стандартов, 2001. – 10 с.

ГОСТ 3623–2015 Молоко и молочные продукты. Метод определения пастеризация. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 11 с.

Мойсеяк М.Б., Ильяшенко Н.Г., Гришин А.Г., 2022 - *Мойсеяк М.Б., Ильяшенко Н.Г., Гришин А.Г.* Микробиологическая безопасность при производстве пищевых продуктов. *Вестник Медицинского института непрерывного образования*. (3) 64–67. DOI 10.46393/27821714_2022_3_64.

REFERENCES

Kanareykin V.I., Rebezov M.B., Bikbova R.A., 2016 - *Kanareykin V.I., Rebezov M.B., Bikbova R. A.* New functional dairy-vegetable yogurt // *Actual problems of intensive animal development*, (19 (2)), 255–260.

Shchetinina E.M., Gavrilova N.B., Chernopolskaya N.L., 2020 - *Shchetinina E.M., Gavrilova N.B., Chernopolskaya N.L.* Development of technology for enriched yogurt based on raw goat milk // *Polzunovskiy vestnik*, (2), 75–77.

Gavrilova N.B., Shchetinina E.M., 2019 - *Gavrilova N.B., Shchetinina E.M.* Goat milk is a biologically valuable raw material for specialized food products // *Storage and processing of agricultural raw materials*, (1), 66–75.

Makhanbetova K.M., Assembayeva E.K., Nurmukhanbetova D.E, Gabdullina E.Zh., Iliyaskyzy M., 2022 - *Makhanbetova K.M., Assembayeva E.K., Nurmukhanbetova D.E, Gabdullina E.Zh., Iliyaskyzy M.* Goat's milk – whole biological raw material // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Chemistry and technology sciences* (4), 96–106. <https://doi.org/10.32014/2518-1491.138>.

Gavrilova N.B., Shchetinina E.M., 2019 - Prospects for the production of specialized food products based on the milk of goats of the Altai Territory // *Dairy industry*. (6), 56–57.

Mironenko I.M., Usatyuk D.A., Bondarenko N.I., 2015 - *Mironenko I.M., Usatyuk D.A., Bondarenko N.I.* Goat milk. How to make a fairy tale come true // *Cheese making and butter making*. (6), 19–22.

Skiba E.A., Shavyrkina N.A., Kukarina E.A., 2017 - *Skiba E.A., Shavyrkina N.A., Kukarina E.A.* Biotechnological features of obtaining yogurt from goat's milk // *Polzunovskiy vestnik*.(4), 36–41.

Borovik T.E., Semenova N.N., Lukoyanova O.L., 2017 - *Borovik T.E., Semenova N.N., Lukoyanova O.L.* The effectiveness of the use of an adapted mixture based on goat's milk in the nutrition of healthy children in the first six months of life: results of a multicenter prospective comparative study // *Questions of modern pediatrics.* (16 (3)), 226–234.

Shao J. Zhou, Thomas Sullivan, Robert A. Gibson, Bo Lønnerdal, Colin G. Prosser, Dianne J. Lowry and Maria Makrides, 2014 - *Shao J. Zhou, Thomas Sullivan, Robert A. Gibson, Bo Lønnerdal, Colin G. Prosser, Dianne J. Lowry and Maria Makrides* Nutritional adequacy of goat milk infant formulas for term infants: a double-blind randomised controlled trial // *British Journal of Nutrition.* (111), 1641–1651. doi:10.1017/S0007114513004212.

Getmanets V.N., 2016 - *Getmanets V.N.* Sour-milk drinks from goat's milk // *Bulletin of the Altai State Agrarian University.* (11(145)), 169–172.

Skidan I.N., Gulyaev A.E., Kaznacheev K.S., 2015 - *Skidan I.N., Gulyaev A.E., Kaznacheev K.S.* Fat globules as determinants of nutritional and biological value of goat's milk // *Food Issues.* (84(2)), 81–95.

GOST 34454–2018 Production thrush. Determination of mass protein by the Kjeldahl method. - Moscow: Standartinform, 2018. - 12 p.

GOST 5867–90 Milk and dairy products. Methods for determining fat. - Moscow: Standartinform, 2009. - 14 p.

GOST R 54760–2011 Dairy products and milk-based baby food products. Determination of the mass concentration of mono- and disaccharides by the method of high-performance liquid chromatography. - Moscow: Standartinform, 2019. - 11 p.

GOST 3624–92. Milk and dairy products. Titrimetric methods for determining acidity. - Moscow: Publishing house of standards, 2001. - 10 p.

GOST 3623–2015 Milk and dairy products. The method of determining pasteurization. - Moscow: Standartinform, 2019. - 11 p.

Moiseyak M.B., Ilyashenko N.G., Grishin A.G., 2022 - *Moiseyak M.B., Ilyashenko N.G., Grishin A.G.* Microbiological safety in food production // *Bulletin of the Medical Institute of Continuing Education.* (3), 64–67. DOI 10.46393/27821714_2022_3_64.

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY
OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
ISSN 2224-5227
Volume 345, Number 1 (2023), 304–313
<https://doi.org/10.32014/2023.2518-1483.203>

UDC 547.9

**A. Tukibayeva^{1*}, R. Pankiewicz², A. Zhylysbayeva³, G. Adyrbekova¹,
D. Asylbekova¹, 2023**

¹M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan;

²Adam Mickiewicz University in Poznan, Poznan, Poland;

³South Kazakhstan State Pedagogical University.

E-mail: ainur_tukibaeva@mail.ru

**SPECTROSCOPIC AND SEMIEMPIRICAL INVESTIGATIONS OF
LASALOCID ESTER WITH 2,2'-TRITHIOETHANOL (LasTio) AND ITS
COMPLEXES WITH MONOVALENT CATIONS**

Tukibayeva Ainur — candidate of Chemistry, associate professor. M. Auezov South Kazakhstan University. Department of Chemistry and pharmaceutical engineering. Shymkent, Kazakhstan
E-mail: ainur_tukibaeva@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6648-5253>;

Pankiewicz Radosław — PhD Chemistry, associate professor. Adam Mickiewicz University in Poznań. Department of Chemistry, Poznan, Poland
E-mail: radek@px.pl, <http://orcid.org/0000-0002-0929-6018>;

Zhylysbayeva Akkongyr — candidate of Chemistry, associate professor. South Kazakhstan State Pedagogical University. Department of Chemistry, Shymkent, Kazakhstan
E-mail: akkonyr@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9114-7582>;

Adyrbekova Gulmira — candidate of Chemistry. Associate Professor. M. Auezov South Kazakhstan University. Department of Chemistry, Shymkent, Kazakhstan
E-mail: adyrbekova.gulmira@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4411-7713>;

Asylbekova Dina — candidate of Chemistry, associate professor. M. Auezov South Kazakhstan university. Department of Chemistry and pharmaceutical engineering, Shymkent, Kazakhstan
E-mail: asylbekova.dina@inbox.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8099-0662>.

Abstract. Lasalocid is the commonly used veterinary antibiotics, where it has found widespread application as an anticoccidial and to improve feed efficiency. The mechanism of action of lasalocid is clearly attributed to its ionophoric properties. Ionophore lasalocid is isolated by Berger from a strain of *Streptomyces lasaliensis* in the form of sodium salt. From among all homologues of lasalocid acid, lasalocid A, the main product of biosynthesis, shows the greatest antibacterial activity. In work, Lasalocid, necessary for experimental works was prepared in 1:1 ratio as complex of lasalocid with ethanol from sodium salt of lasalocid. We prepared the complexes of LasTio with monovalent cations by dissolving the lasalocid ester and NaClO₄ in equimolar quantities in acetonitrile. Perkin Elmer CHN 240 was used for the elementary analysis. In paper the results of the spectroscopic, semiempirical

investigations of lasalocid ester with 2,2'-trithioethanol (LasTio) and its complexes with monovalent cations are given. The heat of formation (HOF, kJ/mol) of LasTio and its complexes with sodium cations was calculated using the semiempirical calculations. Transmission FT-IR spectra of the ester and its complex were recorded as films on the same spectrometer. The RAIRS spectra and potentiodynamic measurements show strong chemisorption of lasalocid ester on the surface of silver. Additionally, the FT-IR study indicates that the adsorption of the LasTio molecule has no influence on its complexation ability.

Keywords: antibiotics, lasalocid, lasalocid ester, NMR, FT-IR spectroscopy, quantum-mechanical calculations

**А.С. Тукибаева^{1*}, Р. Панкевич², А. Жылысбаева³, Г. Адырбекова¹,
Д. Асылбекова¹, 2023**

¹М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті,
Шымкент, Қазақстан;

²Познаньдағы Адам Мицкевич университеті, Познань, Польша;

³Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік педагогикалық университеті,
Шымкент, Қазақстан.

E-mail: ainur_tukibaeva@mail.ru

ЛАЗАЛОЦИДТІҢ 2,2'-ТРИТИОЭТАНОЛМЕН ЭФИРИН (LasTio) ЖӘНЕ ОНЫҢ МОНОВАЛЕНТТІ КАТИОНДАРМЕН КОМПЛЕКСТЕРІН СПЕКТРОСКОПИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ЖАРТЫЛАЙ ЭМПИРИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУ

Түкібаева Айну́р — химия ғылымдарының кандидаты, доцент. М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті. «Химия және фармацевтикалық инженерия» кафедрасы, Шымкент, Қазақстан

E-mail: ainur_tukibaeva@mail.ru, orcid.org/0000-0002-6648-5253;

Панкевич Радослав — PhD, доцент. Познань қаласындағы Адам Мицкевич университеті. Химия кафедрасы. Познань, Польша

E-mail: radek@px.pl, orcid.org/0000-0002-0929-6018;

Жылысбаева Аққоңыр — химия ғылымдарының кандидаты, доцент. Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік педагогикалық университеті. Химия кафедрасы, Шымкент, Қазақстан

E-mail: akkonur@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9114-7582>;

Адырбекова Гүлмира — химия ғылымдарының кандидаты, доцент. М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті. Химия кафедрасы, Шымкент қ., Қазақстан

E-mail: adyrbekova.gulmira@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4411-7713>;

Асылбекова Дина — химия ғылымдарының кандидаты, доцент. М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті. «Химия және фармацевтикалық инженерия» кафедрасы, Шымкент, Қазақстан

E-mail: asylbekova.dina@inbox.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8099-0662>.

Аннотация. Лазалоцид — көп қолданылатын ветеринарлық антибиотиктердің бірі, ол антикоцидий ретінде және жемшөп тиімділігін арттыру үшін кең таралған. Лазалоцидтің әсер ету механизмі, оның

ионофорлық қасиеттеріне байланысты. Ионофор лазалоцидті Бергер *Streptomyces lasaliensis* штаммынан натрий тұзы түрінде бөліп алады. Лазалоцид қышқылының барлық гомологтарының ішінен биосинтездің негізгі өнімі лазалоцид А бактерияға қарсы анағұрлым белсенділік көрсетеді. Бұл жұмыста тәжірибелік жұмыстарға қажетті лазалоцид 1:1 қатынасында лазалоцидтің натрий тұзынан этанолмен лазалоцид кешені ретінде дайындалды. Лазалоцидті эфирді және NaClO_4 -ті эквимоллярлы мөлшерде ацетонитрилде еріту арқылы бір валентті катиондармен LasTiO комплекстерін дайындадық. Элементарлы талдау үшін Perkin Elmer CHN 240 пайдаланылды. Бұл жұмыста 2,2'-третиоэтанолмен (LasTiO) лазалоцидті эфирді және оның моновалентті катиондары бар комплекстерін спектроскопиялық, жартылай эмпирикалық зерттеу нәтижелері келтірілген. LasTiO және оның натрий катиондарымен комплекстерінің түзілу жылуы (НОФ, кДж/моль) жартылай эмпирикалық есептеулер арқылы есептелді. Күрделі эфирдің және оның комплексінің трансмиссиялық FT-IR спектрлері сол спектрометрде пленкалар түрінде жазылды. RAIRS спектрлері мен потенциодинамикалық өлшемдер күміс бетіндегі лазалоцидтік эфирдің күшті хемосорбциясын көрсетеді. Сонымен қатар, FT-IR зерттеуі LasTiO молекуласының адсорбциясы оның комплекс құру қабілетіне әсер етпейтінін көрсетеді.

Түйін сөздер: антибиотиктер, лазалоцид, лазалоцид эфирі, ЯМР, ИҚ-Фурье спектроскопия, кванттық механикалық есептеулер

**А.С. Тукибаева^{1*}, Р. Панкевич², А. Жылысбаева³, Г. Адырбекова¹,
Д. Асылбекова¹, 2023**

¹М. Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова,
Шымкент, Казахстан;

²Университет Адама Мицкевича в Познани, Польша;

³Южно-Казахстанский государственный педагогический университет,
Шымкент, Казахстан.

E-mail: ainur_tukibaeva@mail.ru

**СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ И ПОЛУЭМПИРИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФИРА ЛАЗАЛОЦИДА С
2,2'-ТРИТИОЭТАНОЛОМ (LasTio) И ЕГО КОМПЛЕКСОВ С
ОДНОВАЛЕНТНЫМИ КАТИОНАМИ**

Тукибаева А.С. — к.х.н., доцент, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Кафедра химии и фармацевтической инженерии, г. Шымкент, Казахстан

E-mail: ainur_tukibaeva@mail.ru, orcid.org/0000-0002-6648-5253;

Панкевич Радослав — PhD, доцент, Университет Адама Мицкевича в Познани, кафедра Химии, Познань, Польша

E-mail: radek@px.pl, orcid.org/0000-0002-0929-6018;

Жылысбаева Акконгыр — кандидат химических наук, доцент, Южно-Казахстанский государственный педагогический университет, кафедра «Химия», г. Шымкент, Казахстан

E-mail: akkonyr@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9114-7582>;

Адырбекова Гульмира — кандидат химических наук, доцент, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, кафедра «Химия», г. Шымкент, Казахстан

E-mail: adyrbekova.gulmira@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4411-7713>;

Асылбекова Дина — кандидат химических наук, доцент, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, кафедра химии и фармацевтической техники, Шымкент, Казахстан

E-mail: asylbekova.dina@inbox.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8099-0662>.

Аннотация. Лазалоцид является одним из наиболее часто используемых ветеринарных антибиотиков, где он нашел широкое применение в качестве антикокцидийного средства и для повышения эффективности корма. Механизм действия лазалоцида четко объясняется его ионофорными свойствами. Ласалоцидная кислота была впервые выделена из *Streptomyces lasaliensis* в 1951 году Бергером. Из всех гомологов лазалоцидной кислоты ласалоцид А является главным продуктом биосинтеза проявляет наибольшую антибактериальную активность. В работе ласалоцид был приготовлен в виде комплекса ласалоцида с этанолом 1:1 из натриевой соли ласалоцида. Комплексы LasTio с одновалентными катионами получали растворением эфира ласалоцида и NaClO₄ в эквимольных количествах в ацетонитриле. Элементарный анализ выполнен на PerkinElmer CHN 240. Приведены результаты спектроскопических, полуэмпирических исследований эфира ласалоцида с 2,2'-тритиоэтанолом (LasTio) и его комплексов с одновалентными катионами. Рассчитана теплота образования (HOF, кДж/моль) LasTio и его комплексов с катионами Na⁺ методом PM5. Спектры пропускания FT-IR

сложного эфира и его комплекса зарегистрированы в виде пленок на том же спектрометре. Спектры RAIRS и потенциодинамические измерения указывают на сильную хемосорбцию эфира ласалоцида на поверхности серебра. Кроме того, исследование FT-IR показывает, что адсорбция молекулы LasTio не влияет на ее способность к комплексообразованию.

Ключевые слова: антибиотики, ласалоцид, эфир ласалоцида, ЯМР, ИК-Фурье спектроскопия, квантово-механические расчеты

Introduction

Changes in the molecule structure caused by the introduction of substituents significantly affect the compound reactivity. The character of changes introduced by substituents is most often related to the induction, mesomeric or steric effect. A new effective method of modification of the chemical compounds' reactivity involves introduction of substituents capable of complex formation. Finding the methods of synthesis of molecules with macrocyclic substituents, capable of forming stable complexes with metal cations has opened new possibilities of modifications of the reactivity of many biologically active compounds. The formation of complexes of metal ions with ionophores being the host molecules, changes the activity and selectivity of the metal ions and the ligand molecule. Moreover, this process often involves conformational changes in the host molecule because of the electron interactions or the process of charge transfer onto the guest molecule.

One of the better-known carboxylic ionophore antibiotics is lasalocid (Huczyński et al., 2012). Despite the many desirable properties, it is characterized by high toxicity. In order to overcome the problems related this property, a study has been undertaken aimed at a modification of its chemical and hence also biological properties.

The study of biosynthesis, structure, properties and reactivity of lasalocid acid have led to the application of this compound as an ionophoric antibiotic in animal breeding (Pressman et al., 1967; Schroeder et al., 2005; 1999; Hilgenfeld et al., 1982; Westley et al., 1970; Sherman et al., 1987; Pointud et al., 1988; Antonio et al., 1991). Sodium salt of lasalocid acid is added to the fodder of cattle, sheep, poultry.

One of the most important problems of contemporary agricultural chemistry is the search for new types of compounds showing biological activity and determination of the interactions of such compounds with metal ions in order to establish a correlation between the complex structure and its biological activity.

Lasalocid belongs to linear molecules. Lasalocid acid is biologically active against gram positive bacteria, mycobacteria and coccidia (Safran et al., 1993). Poor resorption of the antibiotic from the alimentary track makes it an excellent drug against *coccidia*, especially those of the genus *Eimeria*, living in the alimentary tract of birds and mammals. Its prophylactic use as a fodder additive (20–100 g/t) for domestic birds and bred animals increases the effective ness of the fodder. Selective antibiotic activity of lasalocid acid changes the microflora of the alimentary tract leading to an increasing concentration of propionic acid at the expense of acetic

acid and butyric acid. These conditions favor more effective energy conversions in metabolic processes. The unfavorable feature of lasalocid acid is its high toxicity. The high toxicity of lasalocid acid and the ensuing limitations of its use have prompted investigation aimed at a desired modification of its chemical and hence also biological properties. The starting point was to block the acid group by ester formation, to prevent the molecule closing into a pseudo-ring by a hydrogen bond through the oxygen from the carboxyl group and the hydrogen from the hydroxyl group 027H (Pankiewicz et al., 2002; 2009; Akkurt et al., 2008).

Thereby, research on the methods for preparation of a new class of ionophores is the important directions of modern agricultural chemistry.

In previous research, we studied the synthesis of lasalocid ester with pentadecafluoro-1-octanol (LasF) and the results of semi-empirical study of its ability to form complexes with certain monovalent cations.

The aim of the research is the investigation of obtaining lasalocid ester with 2,2'-Trithioethanol (LasTio) and spectroscopic, semiempirical study of its complexes with monovalent cations.

The novelty of results obtained is the lasalocid ester with 2,2'-trithioethanol (LasTio) was synthesized for the first time and formation of its complexes with sodium cations was studied by spectroscopic and semiempirical methods.

Methods and materials

Preparation of Lasalocid ester with 2,2'-Trithioethanol. Lasalocid was prepared as a 1:1 complex of lasalocid with ethanol from the lasalocid sodium salt following the procedure: at first, we dissolved the 1:1 complex of lasalocid-ethanol (0.01 mole) twice in 100 cm³ benzene. Subsequently the solvent was evaporated. In order to remove the traces of benzene, it was evaporated under reduced pressure. Then the yellow oily residue (including about 5 % ethanol, NMR) was dissolved in 200 cm³ absolute diethyl ether including 0.011 (10 % excess) mole of 2,2'-trithioethanol (Aldrich). A portion of 0.012 mole of DCC (1,3-dicyclohexylcarbodiimide) was added to the solution and the mixture was refluxed for 10h. The precipitated dicyclohexylurea was filtered off and the solvent was evaporated under reduced pressure at room temperature. The residue was transferred to a chromatographic column filled with silica gel (Fluka type 60). The column was first eluted with hexane to separate the traces of DCC and then with the hexane-ether (2:1) solvent mixture. For the evaporation of the combined fractions were used reduced pressure. The yield of oily colourless lasalocid ester with 2,2'-trithioethanol (Aldrich) (LasTio), showing tendency to form a glass state, was 78 %.

Preparation of complex of non-adsorbed ester. The sodium perchlorate was dehydrated by several (6-10 times) evaporations from a 1:5 mixture of acetonitrile and absolute ethanol. The FT-IR spectra in acetonitrile was used for the detection of the perchlorate dehydration.

The complexes of LasTio with monovalent cations were obtained by dissolving lasalocid ester and NaClO₄ in equimolar quantities in acetonitrile.

Elementary analysis. The elementary analysis of products was carried out on

Perkin Elmer CHN 240: for the ester of lasalocid with 2,2'-trithioethanol (Aldrich) (C₃₈H₆₂O₉S₂) (calculated: C 62.78 %, H 8.60 %, S 8.82 %, found: C 62.51 %; H 8.55 %; S 8.83 %).

Results and discussion

The ability of complex formation of lasalocid ester with 2,2'-trithioethanol (LasTio) with Na⁺ cations was studied.

¹H NMR measurements. The NMR spectra were recorded in CD₃CN using a Varian Gemini 300 MHz spectrometer. All spectra were locked to deuterium resonance of CD₃CN. The error in ppm values was 0.01. All ¹H NMR measurements were carried out at the operating frequency 300.075 MHz; flip angle, pw = 450; spectral width, sw = 4500 Hz; acquisition time, at = 2.0 s; relaxation delay, d1=1.0 s; T = 293.0 K and TMS as the internal standard. No window function or zero filling was used. Digital resolution = was 0.2 Hz/point. The signals in the ¹H NMR spectrum of LasTrio were assigned using one or two-dimensional (COSY) spectra: δ (5) 7.20 dd; (6) 6.71 d; (8) 2.99 t; (9) ~2.0; (10) ~1.8; (11) 3.9 dd; (12) 2.92 m; (14) 2.85 m; (15) 4.08 dd; (16) 1.70 m; (17) 1.60, 1.90; (19) 3.45 dd; (20) 1.60 dt; (21) 1.50, 1.80; (23) 3.84 q; (24) 1.12 d; (25) 1.23 q; (26) 0.92 t; (27) 3.20 s; (28) 1.51 q; (29) 0.82 t; (30) 1.05 d, (31) 1.5, 1.9; (32) 0.87 t; (33) 0.88 d; (34) 3.60 s; (35) 0.89 d; (36) 2.2 s; (37) 11.2 s; (1') 4.52 m; (2') 2.98 m; (3') 2.82 m; (4') 3.59 m; (5') 3.1 s.

Adsorption procedure. Silver strips (99.999%) were polished with aluminium slurries (Buehler) of successively final grades (down to 0.05 m) on polishing cloths (Buehler), rinsed carefully with a dry solvent (acetonitrile or propylene carbonate). The LasTio adsorbates were formed on the silver strips from their acetonitrile solutions (0.2 M). After taking out from the liquid phase, the adsorbate was rinsed with a pure and dried acetonitrile and allowed to dry for 12h in the water free argon atmosphere. Furthermore, the complexation process on the surface layer was initiated by immersing the LasTio modified sample in acetonitrile NaClO₄ solution (0.2 M) for 4h. After taking out from the liquid phase the adsorbate was rinsed according to the method described previously. We proposed that in the adsorbance process the S-S bonds were broken and the new S-Ag bonds were formed. Thus, means that the monolayer is form between the Ag surface and new 2-thioethyl lasalocid ester (LasTio) (Fig.1.).

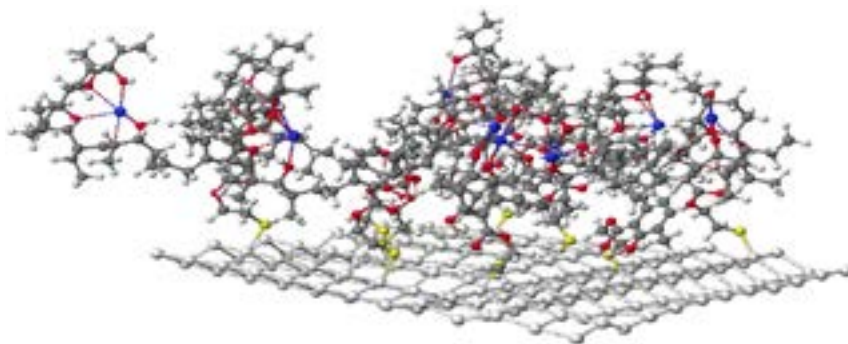


Fig. 1. Calculated structure of LasTio, adsorbed on Ag surface

FT-IR spectroscopy. Transmission FT-IR spectra of the ester and its complex were recorded as films on the same spectrometer.

The reflection-absorption spectra (RAIRS) for adsorbates on smooth silver strips were obtained in an N₂ atmosphere on a Bruker 113V FT-IR spectrometer with an FT-80 grazing angle infrared reflection accessory and a liquid N₂ cooled TGS detector. Typically, 2048 scans with 1 cm⁻¹ resolution were performed (Fig. 2.).

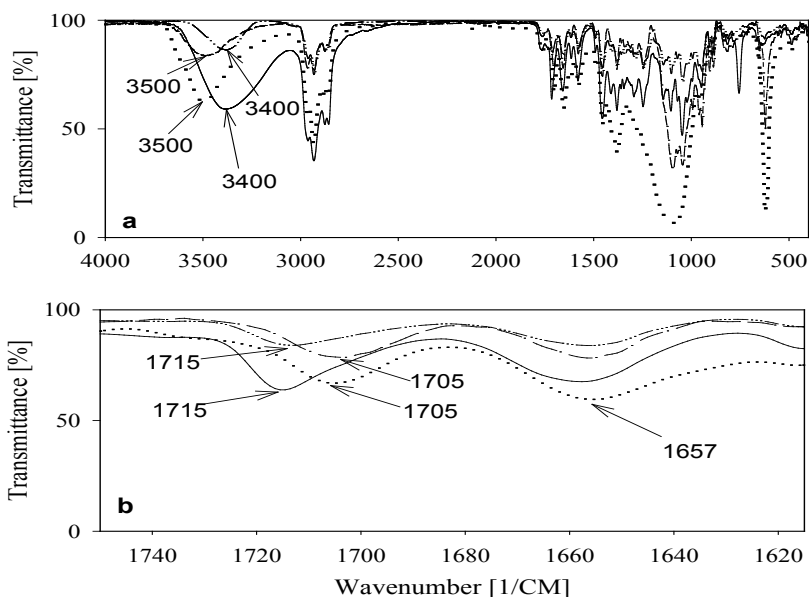


Fig. 2. The FT-IR spectra (film) of (—) LasTio and its (····) 1:1 complexes with Na⁺ and the ATR spectra of (- - -) LasTio adsorbed on a silver surface and its (- · - ·) complexes with Na⁺ cations (a) 4000–400 cm⁻¹. The same spectra in the extended scale (b) 1750–1615 cm⁻¹

AM1d and PM5 semiempirical calculation. The semi-empirical calculations of the maximum surface packing density, Heat of Formation (HOF) and the geometric optimization were made using the WinMopac 2002 program (Pankiewicz et al., 2018) (Table-2., Fig. 3.).

Table 2. Heat of formation (HOF, kJ/mol) of LasTio and its complexes with Na⁺ cations calculated by PM5 method

Compound	HOF (kJ/mol)	ΔHOF
LasTio	-1947.20	-
LasTio:Na ⁺ (complexed)	-1706.09	-
LasTio + Na ⁺ (uncomplexed)	-1352.81	353.28
LasTio:2Na ⁺ (complexed)	-874.58	-
LasTio + 2Na ⁺ (uncomplexed)	-758.42	116.16
	$\Delta\text{HOF} = \text{HOF}_{(\text{complexed})} - \text{HOF}_{(\text{uncomplexed})}$	

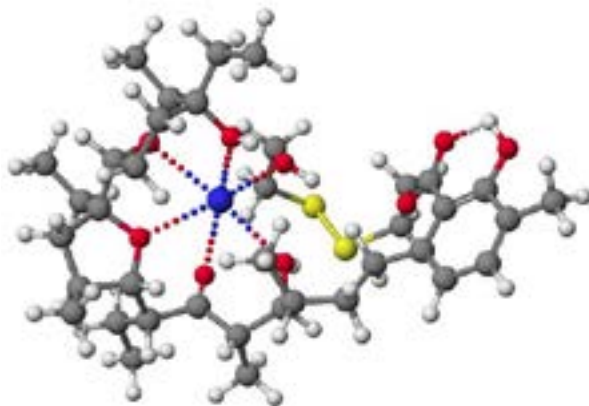


Fig. 3. Calculated structure of LasTio with Na⁺ cation

Conclusions

The synthesis of lasalocid acid ester with 2,2'-Trithioethanol were obtained for the first time. The complexes of LasTio with sodium cations were obtained by dissolving lasalocid ester and NaClO₄ in equimolar quantities in acetonitrile. The ability of complex formation of lasalocid ester with 2,2'-trithioethanol (LasTio) with Na⁺ cations was studied. The RAIRS spectra and potentiodynamic measurements indicate strong chemisorption of lasalocid ester on silver surface. Additionally, the FT-IR study demonstrates that the adsorption of the LasTio molecule has no influence on its complexation ability.

REFERENCES

- Huczyński A., Janczak J., Antoszczak M., Wietrzyk J., Maj E., Brzezinski B., 2012 — *Huczyński A., Janczak J., Antoszczak M., Wietrzyk J., Maj E., Brzezinski B.* Antiproliferative activity of salinomycin and its derivatives, *Bioorg. Med. Chem. Lett.*, 22: 7146–7150.
- Pressman B.C., Harris E.J., Jagger W.S., Johnson J.H., 1967 — *Pressman B.C., Harris E.J., Jagger W.S., Johnson J.H.* Antibiotic-mediated transport of alkali ions across lipid barriers, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 58: 1949–1956.
- Schroeder G., Gierczyk B., 2005 — *Schroeder G., Gierczyk B.* Syntetyczne receptory jonowe – jonofory, *Syntetyczne receptory jonowe*. BETAGRAF™ P.U.H.: Poznań.
- Hilgenfeld R., Saenger W., 1982 — *Hilgenfeld R., Saenger W.* Structural chemistry of natural and synthetic ionophores and their complexes with cations, *Host Guest Complex Chemistry II, Topics in Current Chemistry*, 101: 1–82.
- Westley J.W., Evans R.H., Williams J.T., Stempel A., 1970 — *Westley J.W., Evans R.H., Williams J.T., Stempel A.* Structure of antibiotic X-537A, *Chem. Comm.*, 2: 71–72.
- Sherman M.M., Hutchinson C.R., 1987 — *Sherman M.M., Hutchinson C.R.* Biosynthesis of lasalocid A: biochemical mechanism for assembly of the carbon framework, *Biochemistry*, 26(2): 438–445. DOI: 10.1021/bi00376a015.
- Sherman M.M., Yue S., Hutchinson C.R., 1986 — *Sherman M.M., Yue S., Hutchinson C.R.* Biosynthesis of lasalocid A Metabolic interrelationships of carboxylic acid precursors and polyetherantibiotics. *J. Antibiotics*, 39(8): 1135–1143.
- Pointud Y., Passelaigue E., Juillard J., 1988 — *Pointud Y., Passelaigue E., Juillard J.* Interactions between metal cations and the ionophore lasalocid. Part 4.— ΔH^\ominus and ΔS^\ominus for formation of 1–1 and 2–1

complexes of the lasalocid anion and salicylate with alkaline-earth metal cations in methanol, *J.Chem.Soc., Faraday Trans*, 84(5): 1713–1722. <https://doi.org/10.1039/F19888401713>.

Antonio R.V., da Silva L.P., Vercesi A.E., 1991 — *Antonio R.V., da Silva L.P., Vercesi A.E.* Alterations in mitochondrial Ca²⁺ flux by the antibiotic X-537A (lasalocid-A), *Biochimica et Biophysica Acta*, 1056(3): 250–258. DOI: 10.1016/s0005-2728(05)80056-8.

Schroeder G., Łęska B., Gierczyk B., Eitner K., Wojciechowski G., Rozalski B., Bartl F., Brzezinski B., 1999 — *Schroeder G., Łęska B., Gierczyk B., Eitner K., Wojciechowski G., Rozalski B., Bartl F., Brzezinski B.* Studies of complexation of metal cations by tris(3,6-dioxaheptyl)amine in solution. *Mol J. Struct.*, 508(1-3): 129–138. [https://doi.org/10.1016/S0022-2860\(99\)00011-3](https://doi.org/10.1016/S0022-2860(99)00011-3).

Safran N., Aizenberg D.V.M., Bark H., 1993 — *Safran N., Aizenberg D.V.M., Bark H.* Paralytic syndrome attributed to lasalocid residues in a commercial ration fed to dogs. *J. Am. Vet Med Assoc.*, 202(8): 1274–1275.

Pankiewicz R., Schroeder G., Gierczyk B., Brzezinski B., Bartl F., 2002 — *Pankiewicz R., Schroeder G., Gierczyk B., Brzezinski B., Bartl F.* Multinuclear NMR and FTIR studies of new polyoxaalkyl esters of lasalocid and their complexes with lithium and sodium cations. *Biopolymers: Biospectroscopy*, 65(2): 95–110. DOI: 10.1002/bip.10194.

Pankiewicz R., Schroeder G., Brzezinski B., 2009 — *Pankiewicz R., Schroeder G., Brzezinski B.* FT-IR, semi-empirical and electrochemical studies of lasalocid ester with 2,2'-dithiodiethanol adsorbed on silver surface, *Supramol. Chem.* 21: 202–206. <https://doi.org/10.1080/10610270802527010>.

Akkurt M., Öztürk Yıldırım S., Khardli F-Z., Mimouni M., McKee V., Ben Hadda T., 2008 — *Akkurt M., Öztürk Yıldırım S., Khardli F-Z., Mimouni M., McKee V., Ben Hadda T.* Crystal structure of a new polymeric thallium-lasalocid complex: lasalocid anion-thallium(I) containing aryl-Tl interactions, *ARKIVOC*, 15: 121–132.

Pankiewicz P., Nowak A., Górska A., Łęska B., Kabyłbekova B., Tukibayeva A.S., 2016 — *Pankiewicz P., Nowak A., Górska A., Łęska B., Kabyłbekova B., Tukibayeva A.S.* Spectroscopic, spectrometric and semiempirical investigation of lasalocid dodecyl ester and its complexes with monovalent cations, *Industrial Technology and Engineering*, 4(21): 41–49.

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY
OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
ISSN 2224-5227
Volume 345, Number 1 (2023), 314–331
<https://doi.org/10.32014/2023.2518-1483.204>

UDC 544.7

© **A.A. Sharipova¹, A.B. Isaeva^{1,2*}, M. Lotfi³, M.O. Issakhov², A.A. Babayev²,
S.B. Aidarova², G.M. Madybekova⁴, 2023**

¹Satbayev University, Almaty, Kazakhstan;

²Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan;

³Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran;

⁴South Kazakhstan State Pedagogical University, Shymkent, Kazakhstan.

E-mail: isa-asev@mail.ru

ANTI-TURBULENT MATERIALS BASED ON SURFACTANTS AND NANOPARTICLES

Sharipova Altynai Azigarovna — PhD. Research professor. Satbayev university. 050013. Almaty, Kazakhstan

E-mail: a_sharipova85@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-2217-9975>;

Isaeva Asem Bolatbekovna — PhD. Scientific researcher. Kazakh-British Technical University. 050000 Almaty, Kazakhstan

E-mail: isa-asev@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0001-6727-0257>;

Marzieh Lotfi — assistant professor of Jundi-Shapur university of Technology. Dezful, Iran.

E-mail: marzyeh.lotfi@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-7381-7343>;

Issakhov Miras Orynbasaruly — PhD-student. Kazakh-British Technical University. 050000. Almaty, Kazakhstan

E-mail: mir001@gmail.com;

Babaev Alpamys Altayevich — PhD-student. Kazakh-British Technical University. 050000. Almaty, Kazakhstan

E-mail: a_babayev@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-9375-2206>;

Aidarova Saule Baylyarovna — Doctor of chemical sciences, professor. Kazakh-British Technical University. 050000 Almaty, Kazakhstan

E-mail: ainano9999@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5115-5879>;

Madybekova Galiya Madybekovna — candidate of chemical sciences, associate professor. South Kazakhstan State Pedagogical University. 160012. Shymkent, Kazakhstan

E-mail: galiya56@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1970-8143>.

Abstract. An urgent problem of the oil and gas industry in terms of trunk oil pipelines is the presence of turbulent flow in pipelines that require more energy to transport liquids, which leads to inefficiency in pipeline conversion. Reducing the formation of turbulence leads not only to an increase in energy efficiency but also to an increase in the capacity of pipelines. One of the most effective methods of increasing the capacity of trunk pipelines is the use of certain chemicals, namely anti-turbulent additives that reduce friction resistance, or PTP. The presence of small amounts of PTP can lead to a significant reduction in friction in the turbulent

flow in the pipeline and, therefore, can reduce the injection capacity and increase the throughput of the pipeline system. Additives that reduce hydraulic resistance are very important both when drilling oil wells and when servicing pumping equipment in pipelines. Today, many PTP products from various manufacturers are available. One of the biggest problems is that modern calculation methods do not provide an accurate determination of the effect of the hydrodynamic efficiency of the additive on its concentration. To determine this value, only the results of pilot testing of additives on the pipeline section where they are supposed to be used are used. In this regard, there is considerable interest in the comprehensive research and development of new additives that reduce fluid resistance, which can effectively save energy during the transportation of oil and other fluids. This article provides a brief overview of this topic and discusses methods for improving anti-turbulent materials based on surfactants and nanoparticles.

Key words: anti-turbulent material, surfactants, nanoparticles, anti-turbulent additives, pipelines

Financing: The work was carried out within the framework of the project of the Committee of Science of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan under the project: AP13068028 “Colloid-chemical approach to the creation of anti-turbulent materials based on surfactants with nanoparticles for oil pipelines”.

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

© А.А. Шарипова¹, А.Б. Исаева^{1,2*}, М. Лотфи³, М.О. Исахов²,
А.А. Бабаев², С.Б. Айдарова², Г.М. Мадыбекова⁴, 2023

¹Satbayev university, Алматы, Қазақстан;

²Қазақстан-Британ техникалық университеті, Алматы, Қазақстан.

³Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran;

⁴Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік педагогикалық университеті,
Шымкент, Қазақстан.

E-mail: isa-asev@mail.ru

БЕТТІК БЕЛСЕНДІ ЗАТТАР МЕН НАНОБӨЛШЕКТЕРГЕ НЕГІЗДЕЛГЕН ТУРБУЛЕНТКЕ ҚАРСЫ МАТЕРИАЛДАР

Шарипова Алтынай Азигаровна — PhD, зерттеуші профессор. Satbayev University. 050013. Алматы, Қазақстан

E-mail: a_sharipova85@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2217-9975>;

Исаева Асем Болатбекқызы — PhD. Қазақстан-Британ техникалық университетінің ғылыми қызметкері. 050000. Алматы, Қазақстан

E-mail: isa-asev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6727-0257>;

Лотфи Марзи — PhD. Джунди Шапур технологиялық университетінің ассистенті. Дезфул, Иран

E-mail: marzyeh.lotfi@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7381-7343>;

Исахов Мирас Орынбасарұлы — PhD докторант. Қазақстан-Британ техникалық университеті. 050000. Алматы, Қазақстан

E-mail: mir001@gmail.com;

Бабаев Алпамыс Алтайұлы — PhD докторант. Қазақстан-Британ техникалық университеті. 050000 Алматы, Қазақстан

E-mail: a_babayev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9375-2206>;

Айдарова Сауле Байляровна — химия ғылымдарының докторы, профессор. Қазақстан-Британ техникалық университеті. 050000. Алматы, Қазақстан

E-mail: ainano9999@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5115-5879>;

Мадыбекова Галия Мадыбековна — химия ғылымдарының кандидаты, доцент. Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік педагогикалық университеті. 160012. Шымкент, Қазақстан

E-mail: galiya56@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1970-8143>.

Аннотация. Магистральдық мұнай құбырлары бөлігінде мұнай-газ өнеркәсібінің өзекті проблемасы сұйықтықты тасымалдау үшін көбірек энергияны қажет ететін құбырларда турбулентті ағынның болуы болып табылады, бұл құбырларды түрлендірудің тиімсіздігіне әкеледі. Турбуленттіліктің азаюы энергия тиімділігінің жоғарылауына ғана емес, сонымен қатар құбырлардың өткізу қабілеттілігінің артуына әкеледі. Магистральдық құбырлардың өткізу қабілетін арттырудың ең тиімді әдістерінің бірі-белгілі бір химиялық заттарды, атап айтқанда үйкеліске төзімділікті төмендететін турбулентке қарсы қоспаларды немесе РТР қолдану. Аз мөлшерде РТР болуы құбырдағы турбулентті ағындағы үйкелістің айтарлықтай төмендеуіне әкелуі мүмкін, сондықтан айдау қуатын төмендетіп, құбыр жүйесінің өткізу қабілетін арттыруы мүмкін. Гидравликалық кедергіні төмендететін қоспалар мұнай ұңғымаларын бұрғылау кезінде де, құбырлардағы

сорғы жабдықтарына қызмет көрсету кезінде де өте маңызды. Бүгінгі таңда әртүрлі өндірушілердің көптеген РТР өнімдері бар. Ең үлкен проблемалардың бірі-қазіргі есептеу әдістері қоспаның гидродинамикалық тиімділігінің оның концентрациясына әсерін дәл анықтауды қамтамасыз етпейді. Бұл мәнді анықтау үшін оларды қолдану болжанатын құбыр учаскесіндегі қоспаларды пилоттық тестілеу нәтижелері ғана пайдаланылады. Осыған байланысты, мұнай мен басқа сұйықтықтарды тасымалдау кезінде энергияны тиімді үнемдей алатын сұйықтыққа төзімділікті төмендететін жаңа қоспаларды жан-жақты зерттеу және әзірлеу үлкен қызығушылық тудырады. Бұл мақалада осы тақырып бойынша қысқаша шолу жасалады және беттік белсенді заттар мен нанобөлшектерге негізделген турбулентке қарсы материалдарды жақсарту әдістері қарастырылады.

Түйін сөздер: турбулентке қарсы материал, беттік белсенді заттар, нанобөлшектер, турбулентке қарсы қоспалар, құбырлар

Қаржыландыру: Жұмыс Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі Ғылым комитетінің АР13068028 «БАЗ бар беттік-белсенді заттар негізінде антитурбуленттік материалдарды құруға коллоидты-химиялық тәсіл» жобасы бойынша жүзеге асырылды. мұнай құбырларына арналған нанобөлшектер».

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

© А.А. Шарипова¹, А.Б. Исаева^{1,2*}, М. Лотфи³, М.О. Исахов²,
А.А. Бабаев², С.Б. Айдарова², Г.М. Мадыбекова⁴, 2023

¹Satbayev university. Алматы, Казахстан;

²Казахстанско-Британский технический университет, Алматы, Казахстан;

³Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran;

⁴Южно-Казахстанский государственный педагогический университет,
Шымкент, Казахстан.

E-mail: isa-asev@mail.ru

ПРОТИВОТУРБУЛЕНТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПАВ И НАНОЧАСТИЦ

Шарипова Алтынай Азигаровна — PhD, профессор-исследователь. Satbayev University. 050013. Алматы, Казахстан

E-mail: a_sharipova85@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2217-9975>;

Исаева Асем Болатбекқызы — PhD, научный сотрудник. Казахстанско-Британский Технический Университет. 050000. Алматы, Казахстан

E-mail: isa-asev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6727-0257>;

Лотфи Марзи — PhD, ассистент-профессор Технологического университета Джунди-Шапур. Дезфул, Иран

E-mail: marzyeh.lotfi@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7381-7343>;

Исахов Мирас Орынбасарұлы — PhD докторант. Казахстанско-Британский Технический Университет. 050000. Алматы, Казахстан

E-mail: mir001@gmail.com;

Бабаев Алпамыс Алтайұлы — PhD докторант. Казахстанско-Британский технический университет. 050000. Алматы, Казахстан

E-mail: a_babayev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9375-2206>;

Айдарова Сауле Байляровна — доктор химических наук, профессор. Казахстанско-Британский Технический Университет. 050000. Алматы, Казахстан

E-mail: ainano9999@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5115-5879>;

Мадыбекова Галия Мадыбековна — кандидат химических наук, доцент. Южно-Казахстанский государственный педагогический университет. 160012. Шымкент, Казахстан

E-mail: galiya56@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1970-8143>.

Аннотация. Актуальной проблемой нефтегазовой промышленности в части магистральных нефтепроводов является наличие турбулентного потока в трубопроводах, в которых требуется больше энергии для транспортировки жидкости, что приводит к неэффективности преобразования трубопроводов. Уменьшение образования турбулентности приводит не только к повышению энергоэффективности, но и к увеличению пропускной способности трубопроводов. Одним из наиболее эффективных методов увеличения пропускной способности магистральных трубопроводов является применение определенных химических веществ, а именно противотурбулентных присадок, уменьшающих сопротивление трения, или противотурбулентных присадок. Присутствие небольших количеств противотурбулентных присадок может привести к значительному снижению трения в турбулентном потоке в трубопроводе и, следовательно, может

снизить мощность нагнетания и увеличить пропускную способность системы трубопроводов. Присадки, снижающие гидравлическое сопротивление, очень важны как при бурении нефтяных скважин, так и при обслуживании насосного оборудования в трубопроводах. Сегодня доступно множество продуктов противотурбулентных присадок от различных производителей. Одна из самых больших проблем заключается в том, что современные методы расчета не обеспечивают точного определения влияния гидродинамической эффективности добавки на ее концентрацию. Для определения этого значения используются только результаты пилотного тестирования добавок на участке трубопровода, где предполагается их применение. В этой связи представляет значительный интерес всестороннее исследование и разработки новых присадок, снижающих сопротивление жидкости, которые могут эффективно сэкономить энергию при транспортировке нефти и других флюидов. В данной статье представлен краткий обзор по данной тематике и рассматриваются методы улучшения противотурбулентных материалов на основе поверхностно-активных веществ и наночастиц.

Ключевые слова: противотурбулентный материал, поверхностно-активные вещества, наночастицы, противотурбулентные присадки, трубопроводы

Финансирование: Работа выполнена в рамках проекта КН МНиВО РК по проекту: AP13068028 «Коллоидно-химический подход к созданию противотурбулентных материалов на основе поверхностно-активных веществ с наночастицами для нефтепроводов».

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Современные трубопроводы протяженностью в десятки, сотни и тысячи километров транспортируют огромные объемы жидкости. В условиях постоянно растущего спроса мировой экономики на энергоносители важной задачей является увеличение пропускной способности нефтепроводов. До сегодняшнего дня эта проблема решалась за счет строительства более крупных трубопроводов, а также за счет увеличения количества и производительности насосов и, следовательно, увеличения давления на выходе нефтеперекачивающих станций. Однако на современном этапе развития отрасли трубопроводного транспорта нефти для этого метода возникают ограничения. Это происходит из-за необходимости обеспечения безопасности на определенных участках системы, где ограничения на давление в трубопроводе создают ограничение на пропускную способность всего трубопровода (De Sousa и др., 2017; Priyanka и др., 2016).

Как известно, доля трубопроводного транспорта, особенно для основной транспортировки углеводородов, составляет около 56 % для доставки природного газа, 41 % для транспортировки нефти и 4 % для

транспортировки нефтепродуктов (De Sousa и др., 2017). Учитывая, что углеводороды являются одним из стратегически важных носителей энергии в топливно-энергетическом комплексе (ТЭК), роль магистрального транспорта в обеспечении функционирования различных секторов экономики становится очевидной.

По мнению исследователей, снижение энергопотребления может быть достигнуто за счет экономии (уменьшения) электроэнергии для привода магистральных насосов, а именно (De Sousa и др., 2017):

- снижение гидравлического сопротивления трубопровода посредством периодической очистки или применения противотурбулентных присадок;
- оптимизация режимов перекачки с использованием современных методов регулирования производительности насоса;
- снижение потерь электроэнергии в распределительных сетях и действующем оборудовании;
- перевод энергоснабжения на современные энергосберегающие технологии. Между тем, существуют также способы снижения потерь электроэнергии при трубопроводной транспортировке газа и нефти за счет (Priyanka и др., 2016).

Таким образом, на сегодняшний день одной из основных задач в области трубопроводного транспорта нефти является увеличение пропускной способности трубопровода без повышения давления на выходе из насосной станции. Использование так называемых антитурбулентных присадок сегодня становится средством решения этой проблемы. Эти добавки представляют собой соединения высокомолекулярных полимеров, которые при введении в поток нефти приводят к уменьшению турбулентных завихрений в пристенном слое потока. За счет этого снижается коэффициент гидравлического сопротивления и, следовательно, при поддержании давления на выходе из маслонасосной станции увеличивается пропускная способность масла в системе (Japper-Jaafar и др., 2010; Manzhai и др., 2014).

Однако использование таких веществ влечет за собой ряд сопутствующих задач по определению оптимальной концентрации добавки в зависимости от параметров системы и антитурбулентных агентов. Природа эффекта снижения коэффициента гидравлического сопротивления является сложной. Поэтому уравнения, описывающие влияние концентрации и свойств полимерных добавок на поток жидкости, часто являются эмпирическими, и их решение требует использования численных методов расчета (Abubakar и др., 2014; Karami и др., 2012). В (Han и др., 2017) рассматривается природа эффекта, и в качестве возможных антитурбулентных агентов предлагаются различные соединения. Рассматривались как природные, так и синтетические полимерные соединения, такие как поли (окись этилена), поли (акриловая кислота), полиакриламид, поли (N-винилформамид) и камеди. В ходе работы также были предложены некоторые перспективные области применения таких веществ. В исследовании (Dai и др., 2015) рассматривается эффект

деградации молекулы полимера, приводящий к снижению турбулентных свойств добавки. В качестве альтернативы полимерным агентам предлагается использование поверхностно-активных веществ, которые могут действовать как антитурбулентные агенты. Комбинации поверхностно-активных веществ с полиолефином были исследованы на чувствительность к деградации при движении в турбулентном потоке. Было показано, что такие комбинации снижают износ антитурбулентных агентов.

Использование противотурбулентных присадок (ПТП) на основе высокомолекулярных линейных полимеров может повысить производительность трубопровода, сократить количество насосных станций, снизить рабочие давления и снизить энергозатраты на перекачку за счет предотвращения возникновения турбулентностей в потоке перекачиваемой жидкости. Полимерные макромолекулы в составе противотурбулентной добавки сглаживают пульсации давления в потоке, обратимо накапливая энергию за счет упругой деформации. Чем больше молярная масса макромолекул, тем больше энергии они могут накапливать, что приводит к повышению эффективности добавки с увеличением молекулярной массы полимера. Следует отметить, что эффективность снижения гидродинамического сопротивления зависит не только от молекулярной массы, но и от длины макромолекулы (Николаев и др., 2021).

Материалы и основные методы

В работе авторов (Abubakar и др., 2014) на основе проведенных исследований был сделан вывод о том, что при разработке объектов трубопроводного транспорта одним из основных критериев является эксплуатационная надежность. Последнее, по мнению авторов, становится все более ответственной и важной задачей в современной промышленности. Эксплуатационная надежность способствует внедрению инноваций в систему добычи нефти и газа, а также улучшению параметров надежности технологических систем.

Анализ работ в зарубежных рецензируемых научных журналах показал, что многие исследования направлены на предотвращение и минимизацию коррозии в стальных трубопроводах и резервуарах. Так, в (Karami и др., 2012) предложено применение времяпролетной дифракции (TOFD) для исследования сварных соединений с неравномерной толщиной стенок вертикальных стальных резервуаров. В данной работе научно обоснован один из метрологических методов повышения надежности трубопроводов и резервуаров для транспортировки и хранения нефти. Авторы следующей работы (Нап и др., 2017) провели полный анализ возможности использования супергидрофобных покрытий для защиты стальных трубопроводов в нефтегазовой промышленности.

В исследовании (Dai и др., 2015) рассматривается эффект деградации молекулы полимера, приводящий к снижению турбулентных свойств добавки. В качестве альтернативы полимерным агентам предлагается

использование поверхностно-активных веществ, которые могут действовать как антитурбулентные агенты. Комбинации поверхностно-активных веществ с полиолефином были исследованы на чувствительность к деградации при движении в турбулентном потоке. Было показано, что такие комбинации снижают износ антитурбулентных агентов. В диссертации (Русинов и др., 2016) всесторонне рассматривается проблема движения как однофазного, так и двухфазного потока нефть-вода по трубам различного диаметра. Основным применением этого исследования является, прежде всего, возможность повышения коэффициента извлечения нефти из месторождения, поскольку поверхностно-активные вещества в настоящее время активно используются с этой целью при добыче нефти. С точки зрения трубопроводной транспортировки нефти представленные зависимости не позволяют провести математическое моделирование процесса.

В (Edomwonyi-Otu и др., 2015) рассмотрена эффективность применения современной противотурбулентной присадки “M FLOWTREAT” марки С. Было проведено экспериментальное исследование эффективности добавки в зависимости от снижения давления на выходе насоса и увеличения расхода жидкости в системе. Эксперимент проводился в четырех рабочих режимах с концентрацией добавки 0, 10, 20, 30 частей на миллион. Результаты исследований показали целесообразность использования противотурбулентных агентов. Однако задача математического моделирования для расчета наиболее эффективной концентрации добавки в зависимости от параметров системы и трубопровода не решена. Задача математического моделирования процесса транспортировки нефти по трубопроводу с использованием противотурбулентных присадок рассмотрена в (Nikolaev и др., 2018). Была изучена эффективность современных добавок в зависимости от их концентрации. В качестве математической модели была предложена система нелинейных уравнений, которые были решены с использованием численного метода Ньютона-Рафсона. Получены зависимости коэффициента полезного действия от концентрации добавки. Однако представленные уравнения выведены для рассматриваемых типов добавок и не являются универсальными.

Эффект возникает в слоях потока жидкости вблизи стенки трубы, где происходит так называемое слоение движения частиц жидкости, т.е. уменьшение турбулентности пристенного слоя. Это приводит к увеличению пропускной способности трубопровода при постоянном давлении насосов или к снижению энергопотребления насосов при сохранении первоначальной производительности трубопровода. Механизм этого эффекта показан на рисунке 1 (Bogdevičius и др., 2013).

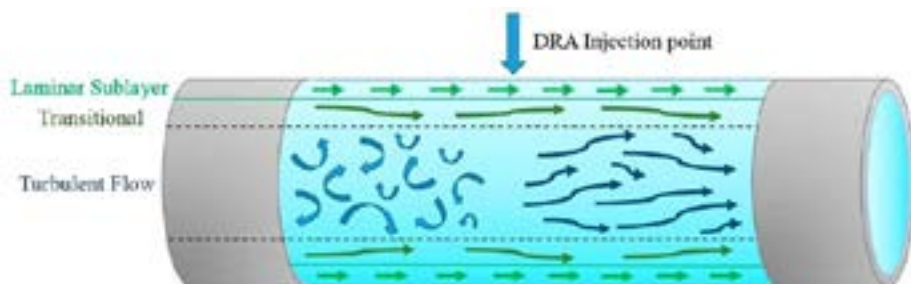


Рис 1. Схематическое изображение эффекта снижения турбулентности потока при введении полимерных добавок (Bogdevičius и др., 2013)
(Fig. 1. Schematic representation of the effect of reducing flow turbulence with the introduction of polymer additives (Bogdevičius and others, 2013))

Существуют различные теории, объясняющие природу процессов, происходящих при введении полимерных добавок в поток жидкости:

- Ориентация молекул жидкости вокруг макромолекул полимеров с образованием структур, снижающих гидравлическое сопротивление внутри потока за счет гашения турбулентных вихрей.

- Адсорбция молекул полимера стенками трубопровода и сглаживание шероховатости стенок с образованием пленки.

- Придание свойств неньютоновских жидкостей растворам высокомолекулярных полимеров, таких как псевдопластичность. Эффективная вязкость таких жидкостей уменьшается с увеличением объемов перекачки. Кроме того, концентрация антитурбулентных полимерных агентов составляет миллионные доли от общего объема раствора. Поэтому взаимодействие полимерных макромолекул не проявляется. Однако, если концентрация активного компонента повышена, может произойти слипание, что приведет к снижению эффективности таких веществ (Jubran и др., 2005).

Эффективность применения противотурбулентных присадок определяется молекулярной массой активного полимера и рабочими параметрами трубопровода (расход, диаметр трубопровода, температура, вязкость перекачиваемой нефти и т.д.). В случае применения противотурбулентных присадок в трубопроводах возникает проблема определения его эффективности, которая рассчитывается по формуле (1)

$$\Psi = \frac{\lambda_0 - \lambda_f}{\lambda_0} \cdot 100 \% = \left(1 - \frac{\Delta P_f \cdot Q_0^2}{\Delta P_0 \cdot Q_f^2} \right) \cdot 100 \% \quad (1)$$

где λ_f , λ_0 – коэффициенты гидравлического сопротивления при подаче масла с присадкой и без нее, ΔP_f , ΔP_0 – потери давления при подаче масла с присадкой и без нее, Q_f , Q_0 – расход масла с присадкой и без нее (Hong и др., 2015).

Таким образом, эффективность противотурбулентной добавки определяется после ее применения на определенном участке трубопровода в зависимости от увеличения производительности и/или снижения давления на выходе насосной станции.

Современные полимерные добавки должны в первую очередь отвечать требованиям экономической эффективности. Поэтому в разных странах используются разные противотурбулентные присадки. Но во всех случаях лидерами в этой области являются специализированные растворы высокомолекулярных соединений с линейной молекулярной структурой. Например, бренды FLO-XL, FLOMXA, M- FLOWTREAT, PT-Flyde и др. В таких добавках содержание активного полимера достигает 25 % (Balabukha и др., 2020). Влияние полимерных добавок на снижение коэффициента гидравлического сопротивления λ было исследовано в работах (Akhmetov и др., 2021; Алябьев и др., 2018). По данным экспериментов, с движением воды в трубопроводах с добавлением полимеров коэффициент гидравлического сопротивления λ при турбулентном режиме движения жидкости можно рассчитать по формуле:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -21g \left[\left(\frac{2gv^2}{v\sqrt{\lambda}} \right)^{\beta/5.75} \left(\frac{2.51}{Re\sqrt{\lambda}} + \frac{\Delta c}{3.701} \right) \right] \quad (2)$$

где V^*c – пороговая динамическая скорость (м/с), при которой начинается снижение потери давления, β – коэффициент, зависящий от типа полимера и его концентрации.

Например, для полиакриламида рекомендуется принимать $V^*c = 0,05$ м/с, а β при $(0,005 \% < C < 0,012 \%)$ вычислять по эмпирической формуле:

$$\beta = 1000C \quad (3)$$

где C – объемная концентрация полимера (%). Когда $C = 0$; $\beta = 0$, т.е. в отсутствие полимерной добавки, уравнение (2) преобразуется в хорошо известную формулу Колбрука – Уайта:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -21g \left(\frac{2.51}{Re\sqrt{\lambda}} + \frac{\Delta c}{3.701} \right) \quad (4)$$

т.е. одно из уравнений гидравлики для определения λ при движении жидкости без полимерных добавок.

Уравнение (2) позволяет включить в расчет как параметры трубопроводной системы, так и параметры полимерной добавки. Поэтому он перспективен для расчета оптимальной концентрации добавки. Однако вычисление по этому уравнению осложняется тем фактом, что из-за его эмпирического характера

решение уравнения (2) включает в себя перечисление большого количества значений.

Эффективность противотурбулентных присадок

Современный процесс транспортировки нефти невозможно представить без использования противотурбулентных присадок (ПТП). Сегодня на рынке присутствует значительное число ПТП разных производителей. Одна из основных сложностей для заказчика заключается в том, что современные методы расчетов не позволяют точно определить зависимость гидродинамической эффективности присадки от ее концентрации. Эта величина определяется лишь по результатам опытно-промышленных испытаний присадки на том участке трубопровода, где планируется ее использование.

Так как основным показателем ПТП считается гидродинамическая эффективность, т.е. способность снижать потери на трение в пристеночной области, в таком случае непосредственно понимание четкого ее значимости, а также считается основным фактором. Однако ни имеющиеся современные методы гидравлического расчета трубопроводов, в том числе вместе с применением специальных компьютерных проектов, ни лабораторные способы оценки гидравлической эффективности не позволяют приобретать конкретных связей эффективности от концентрации присадки — с целью любого трубопровода и любой присадки данная величина устанавливается экспериментально. В практике попадаются эпизоды достаточно существенных отклонений прогнозируемых, а также подлинных научно-технических характеристик трубопроводной перекачки с вычисленных смыслов, вплотную вплоть до абсолютного недоступности результата. Данная особенность противотурбулентных добавок разъясняется многочисленными факторами: числом Рейнольдса, компонентным составом перекачиваемой жидкости, ее физико-химическими данными, протяженностью трубопровода, а также др. Из-за данного важным обстоятельством допуска добавки к промышленному применению является экспериментальное подтверждение производительности при помощи опытно-промышленных тестирований в этом месте трубопровода, где планируется ее использование (Белоусов, 1980).

Эффективность снижения турбулентного сопротивления при использовании ПТП зависит от множества различных факторов: реологических свойств, молекулярной массы полимера, структуры макромолекулы, концентрации присадки, свойств растворителя (нефтепродукта), температуры и других условий перекачки. Представляет интерес изучение закономерностей влияния указанных факторов на гидравлическую эффективность ПТП. В настоящее время исследования факторов, влияющих на эффективность ПТП, в основном проводятся экспериментальными методами. К ним относятся опытные исследования на стендовых и промышленных трубопроводах, лабораторных реометрах (Ян, 2020).

Противотурбулентные присадки, состоящие из полимеров

Поскольку в трубах большого диаметра даже высоковязкая нефть

транспортируется, как правило, в турбулентном режиме течения, то для снижения гидравлического сопротивления могут применяться полимерные ПТП. Кроме хорошей растворимости, полимер должен обладать высокой молекулярной массой, чтобы реализовались условия для снижения гидравлического сопротивления. Традиционные присадки на основе полимеров высших олефинов, которые используются для снижения сопротивления легкой нефти и дизельного топлива, в тяжелой нефти работают не всегда. Причина в том, что последняя содержит большое количество асфальтенов, смол и высокомолекулярных парафинов, которые препятствуют их растворению. Особенно это касается асфальтенов, которые представляют собой, по сути, мельчайшие графитовые пластинки, к которым присоединены углеводородные заместители.

Способность снижать сопротивление течения имеют многие высокомолекулярные вещества, которые условно можно разделить на три класса:

- синтетические или природные карбоцепные полимеры;
- координационные полимеры;
- высокомолекулярные нефтяные остатки.

Влияние высокомолекулярных соединений на явление снижения турбулентного трения определяется их химическим составом, строением, молекулярной массой, молекулярно-массовым распределением и конформацией.

Порядок расположения атомов в молекулах полимера основывается на общих принципах теории строения органических соединений. В частности, в полимерных цепях с ковалентными связями в большинстве случаев соблюдается постоянство межатомных расстояний и валентных углов.

Полимерная макромолекула может быть построена из симметричных звеньев, в этом случае исключается возможность изомерии. Несимметричные мономерные звенья могут соединяться в полимерную цепь упорядоченно по типу «голова к хвосту»

Успехи полимерной химии последних лет позволяют осуществлять в промышленных условиях целенаправленный синтез стереорегулярных полимеров с заранее заданным строением полимерной цепи и требуемым комплексом свойств.

Молекула любого вещества имеет химическое строение, которому соответствует строго определенное пространственное расположение атомов (конфигурация). Устойчивыми конфигурациями являются цепи стереорегулярных полимеров синдиотактического, изотактического, цис или транс-строения. Превращение одной конфигурации этих полимеров в другую простым поворотом звеньев без разрыва химических связей невозможно.

Изменение формы макромолекул под влиянием теплового движения или под действием внешнего поля, не сопровождающееся разрывом химических связей, называется конформационным превращением. Формы молекул,

переходящие друг в друга без разрыва химических связей, называются конформациями (поворотными изомерами).

На эксплуатационные показатели противотурбулентных присадок, из числа которых наиболее часто применяются FLO MXA, Necadd-477, M-FLOWTREAT, PT FLYDE-H и др., могут влиять:

- режим течения потока;
- молекулярные и теплофизические свойства рабочего тела (вязкость);
- температура перекачиваемой среды;
- диаметр трубопровода;
- содержание в потоке асфальтосмолопарафиновых веществ (АСПВ) и проч. Стоит также отметить, что присадки эффективны только в турбулентном потоке, т. е. при значениях числа Рейнольдса больше критического.

В настоящее время используются следующие методы исследования для изучения факторов, влияющих на эффективность снижения сопротивления в турбулентном потоке с небольшими добавками агентов, снижающих сопротивление полимеров, а также на разрушение пути последних из-за воздействия касательных напряжений:

- теоретические исследования механизма подавления турбулентности на основе совместного решения уравнения Навье-Стокса и определяющей модели вязкоупругости полимера;

- экспериментальные исследования механизма подавления турбулентности на основе совместного решения уравнения Навье-Стокса и определяющей модели вязкоупругости полимера;

- численное моделирование с использованием прямого численного моделирования (DNS), уравнения Навье-Стокса со средним числом Рейнольдса (RANS) или данных о внутренней микроструктуре раствора с антитурбулентной добавкой, основанных на данных, полученных в результате реологических экспериментов и лазерной технологии.

Ламинарные и турбулентные режимы

Первый вид движения, при котором частицы следуют по отчетливо видимым траекториям, представляющим плавные, лишь слегка изменяющиеся со временем, кривые, называется ламинарным, этот вид движения был рассмотрен в предыдущей главе.

Более распространен второй вид движения с хаотически переплетенными и быстро изменяющимися во времени траекториями, с поперечными и, даже, попятными по отношению к общему движению жидкости перемещениями отдельных малых объемов. Такое нерегулярное, имеющее в малых своих частях случайный характер движение называется турбулентным.

На самом деле, как показывают многочисленные исследования, турбулентное движение, как бы ни было оно сложно по своей внутренней структуре, подчиняется общим законам динамики непрерывной среды, в частности установленным в предыдущей главе уравнениям динамики вязкой сжимаемой или несжимаемой жидкости в нестационарной их форме. В то же

время не имеет смысла точная постановка вопроса о разыскании решений этих уравнений при строго поставленных начальных и граничных условиях. Действительно, в обстановке неограниченного роста сколь угодно малых возмущений самые, ничтожные отклонения от поставленных граничных и начальных условий (неточности в изготовлении поверхности обтекаемого тела, предыдущая история потока и др.) могут привести к столь значительным изменениям решений уравнений, что за ними исчезнут все достоинства "строгой" постановки задачи. Пользоваться упрощенной геометризацией формы обтекаемых тел или каналов и не учитывать наличия начальных возмущений в потоке можно лишь в тех случаях, когда поток устойчив и существует уверенность, что сделанные малые ошибки в постановке задачи приведут к столь же малым ошибкам в ее решении; это и делалось ранее при рассмотрении ламинарных движений. Для исследования турбулентных движений приходится применять особые, характерные для существа рассматриваемого явления приемы, связанные с заменой действительного движения некоторой упрощенной схемой осредненного в пространстве и времени движения, которое примерно так же относится к истинному, как ламинарное движение - к представляющему его внутреннюю структуру хаотическому молекулярному. Эта аналогия сыграла свою роль в истории создания законов осредненного турбулентного движения жидкости.

Прежде чем перейти к выводу основных уравнений осредненного движения, рассмотрим несколько детальнее явление перехода ламинарного движения в турбулентное.

Из предыдущего вытекает, что вопрос об определении условий перехода ламинарного движения в турбулентное сводится к решению задачи об устойчивости ламинарного движения и указанию границы потери этой устойчивости. Не имея возможности останавливаться на весьма сложной математической теории устойчивости ламинарных движений, удовольствуемся изложением некоторых важных для практики выводов этой теории.

Выводы

Таким образом, рассмотрены и обсуждены экспериментальные и теоретические исследования увеличения пропускной способности трубопровода с использованием антитурбулентных присадок с полимерными добавками и наночастицами. Были рассмотрены основные решения по повышению энергоэффективности нефтепроводного транспорта. На основе обзора были определены ключевые ограничивающие факторы и наиболее перспективные решения для увеличения пропускной способности магистральных нефтепроводов. Это позволило улучшить расчет эффективности противотурбулентной добавки с ПАВ и наночастицами по всей области эффективной концентрации. Разработка новых методов синтеза необходима для того, чтобы сделать противотурбулентные добавки более доступными, эффективными, прежде чем они получат широкое применение.

ЛИТЕРАТУРА

Абубакар А., Аль-Хашми А., Аль-Вахаиби Т., Аль-Вахаиби Ю., Аль-Аджди А., Эшрати М., 2014 — *Абубакар А., Аль-Хашми А., Аль-Вахаиби Т., Аль-Вахаиби Ю., Аль-Аджди А.*, Роль полимеров. Снижающих лобовое сопротивление, в однофазных и многофазных потоках. *Эшрати М.* // Adv. мех. англ. – 2014. – 6. doi.org/10.1155/2014/2020 202073.

Алябьев А.С., Дехтяр Э.Ф., Кабанов О.П., Осипов Г.В., 2018 — *Алябьев А.С., Дехтяр Э.Ф., Кабанов О.П., Осипов Г.В.* Противотурбулентная добавка. –2018. RU2667913C1. <https://patents.google.com/patent/RU2667913C1/ru>.

Ахметов С., Ахметов Н., Икласова Ж., Зайдемова Ж., 2021 — *Ахметов С., Ахметов Н., Икласова Ж., Зайдемова Ж.* Энергосберегающие технологии при транспортировке нефти и газа // E3S Web of Conferences, – 2021. – 288. – 01051. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128801051>.

Балабуха А., Зверева В., 2020 — *Балабуха А., Зверева В.* Оценка эффективности антитурбулентных присадок при нефтепроводном транспорте. Ключевые тенденции в транспортных инновациях // E3S Web Conf. – 2005. – V.157. – 02005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015702005>.

Белоусов Ю.П., 1980 — *Белоусов Ю.П.* Противотурбулентные присадки к углеводородным жидкостям, - 1980, Новосибирск, Наука;

Богдьявичюс М., Янутене Ю., Йоникас К., Гусейновене Э., Дракиас М., 2013 — *Богдьявичюс М., Янутене Ю., Йоникас К., Гусейновене Э., Дракиас М.* // Журнал вибротехники, – 2018, с. – 15(1). – Рр. 419–427. ISSN (печать) 1392–8716.

Dai X., Li G., Li J., Xin Y., Yang G., Zhang Y., 2015 — Synthesis of graphene–transition metal oxide hybrid nanoparticles and their application in various fields. // 2-й Международный семинар по материаловедению и компьютерным наукам (в Китае).

Де Соуза К.А., Ромеро О.Дж., 2017 — *Де Соуза К.А., Ромеро О.* // Латиноамериканский журнал энергетических исследований 4(1). –Рр. 17–29. DOI: 10.21712/lajer.2017 v4.n1, (на англ.).

Edomwonyi-Otu L.C., 2015 — *Edomwonyi-Otu L.C.* Снижение сопротивления водонефтяных потоков, докторская диссертация (факультет химического машиностроения Университетского колледжа Лондона, – 2015 г. (на английском языке).

Джаппер-Джаафар А., М. Эскудые Б., Пул Р. Дж., 2010 — *Джаппер-Джаафар А., М. Эскудые Б., Пул Р.* // Journal Non-Newtonian Fluid Mechanics, – 2010. – 161. – Рр. 86–93. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015702005>.

Джубран Б.А., Зуригат Ю.Х., Гусен М.Ф.А., 2005 — *Джубран Б.А., Зуригат Ю.Х., Гусен М.Ф.А.* // Нефтяная наука и технология, – 205. – 23. DOI: 10.1081/LFT-200038223.

Карамидж. Х.Р., Маула Д., Нонньютон Дж., 2012 — *Карамидж. Х.Р., Маула Д., Нонньютон Дж.* Исследование влияния различных параметров на снижение перепада давления в трубопроводах для сырой нефти с помощью агентов, снижающих сопротивление // Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics. Гидромеханика, – 2012, – 177(178). – Рр. 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.jnnfm.2012.04.001>.

DOI: 10.3390/pr5020024.

Манжай В.Н., Le Grand М.С., Абдусалимов А.В., 2014 — *Манжай В.Н., Le Grand М.С., Абдусалимов А.В.* // Конф. ИОР. Серия: Науки о Земле и окружающей среде, – 2014. – 21. DOI: 10.1088/1755-1315/21/1/012028.

Николаев А.К., Деменин Е.С., Плотникова К.И., 2021 — *Николаев А.К., Деменин Е.С., Плотникова К.И.* Исследование применения противотурбулентных и депрессорных присадок при трубопроводном транспорте высоковязкой нефти // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2021, – 4(124). – Рр. 54–57. DOI: 10.33285/1999-6934-2021-4(124)-54-57.

Николаев А.К., Зарипова Н.А., Ерашов А.А., Деменин Е.С., 2018 — *Николаев А.К., Зарипова Н.А., Ерашов А.А., Деменин Е.С.* // ИОР Conf. Серия: Науки о Земле и окружающей среде. – 2018. – 194. DOI:10.1088/1755-1315/194/8/082029.

Приянка Э.Б., Махесвари К., Минакшиприя Б., 2016 — *Приянка Э.Б., Махесвари К.,*

Минакиширия Б. // Журнал прикладных исследований и технологий. – 2016. – 14. ISSN: 1665–6423. № 04-2003-041513244000-203.

Русинов П.Г., Балашов А.В., Нифантьев И.Е., 2016 — Русинов П.Г., Балашов А.В., Нифантьев И.Е. Антитурбулентная добавка и способ ее получения, патент. –2016. – № 10. RU(11)2 579 588(13)C1. 10.04.2016.

Хан В.Дж., Донг Ю.З., Чой Х.Дж., 2017 — Хань В.Дж., Донг Ю.З., Чой Х.Дж. // Процессы, – 2017. – 5(2). – С. 24. DOI:10.3390/pr5020024.

Хонг Ч.Х., Джанг Ч.Х., Чой Х.Дж., 2015 — Хонг Ч.Х., Джанг Ч.Х., Чой Х. // J.Polymers, – 2015. – 7. – Рр. 1279–1298. DOI: 10.3390/polym7071279. (на китайском).

Ян Ч., 2020 – Ян Ч. Оценка влияния разрушения пути противотурбулентными добавками на их гидравлическую эффективность, диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, – 2020.

REFERENCES

Abubakar A., Al-Hashmi A., Al-Wahaibi T., Al-Wahaibi Y., Al-Ajmi A., Eshtrati M., 2014 — Abubakar A., Al-Hashmi A., Al-Wahaibi T., Al-Wahaibi Y., Al-Ajmi A. Roles of drag reducing polymers in single- and multi-phase flows Eshtrati M. // Adv. Mech. Eng. –2014. –6. doi.org/10.1155/2014/20202073.

Akhmetov S., Akhmetov N., Iklasova Zh., Zaydemova Zh., 2021 — Akhmetov S., Akhmetov N., Iklasova Zh., Zaydemova Zh., Energy-saving technologies for oil and gas transportation // E3S Web of Conferences –2021. –288. –01051. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128801051.

Alyabyev A.S., Dekhtyar E.F., Kabanov O.P., Osipov G.V., 2018 — Alyabyev A.S., Dekhtyar E.F., Kabanov O.P., Osipov G.V. Anti-turbulence additive. –2018. RU2667913C1. https://patents.google.com/patent/RU2667913C1/ru.

Balabukha A., Zvereva V., 2020 — alabukha A., Zvereva V. Evaluation of the effectiveness of anti-turbulent additives in the oil pipeline transportation. Key Trends in Transportation Innovation, // E3S Web Conf., – 2005. – V.157, – 02005. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015702005.

Belousov Yu.P., 1980 — Belousov Yu.P. Anti-turbulence additives for hydrocarbon liquids, –1980, Novosibirsk, Nauka;

Bogdevičius M., Janutėnienė J., Jonikas K., Guseinoviėnė E., Drakšas M., 2013 — Bogdevičius M., Janutėnienė J., Jonikas K., Guseinoviėnė E., Drakšas M. // Journal of Vibroengineering, –2018. – 15(1). – Pp. 419–427. ISSN (Print) 1392-8716.

Dai X., Li G., Li J., Xin Y., Yang G., Zhang Y., Synthesis of graphene–transition metal oxide hybrid nanoparticles and their application in various fields 2015 — // 2nd International Workshop on Materials Engineering and Computer Sciences (in China).

De Sousa C.A., Romero O.J., 2017 — De Sousa C.A., Romero O. // atin American Journal of Energy Research 4(1). –Pp. 17–29. DOI: 10.21712/lajer 2017.v4 n1, (in Eng.).

Edomwonyi-Otu L.C., 2015 — Edomwonyi-Otu L.C. Drag reduction in oil-water flows, PhD Thesis (Department of Chemical Engineering University College London. –2015 (in Eng.).

Han W.J., Dong Y.Z., Choi H.J., 2017 — Han W.J., Dong Y.Z., Choi H.J. // Processes, –2017. – 5(2). – P.24. DOI: 10.3390/pr5020024.

Hong C.H., Jang C.H., Choi H.J., 2015 — Hong C.H., Jang C.H., Choi H. // J. Polymers. –2015. – 7. – Pp. 1279–1298. DOI: 10.3390/polym7071279. (in China).

Japper-Jaafar A., M. Escudier B., Poole R.J., 2010 — Japper-Jaafar A., M. Escudier B., Poole R. // Journal Non-Newtonian Fluid Mechanics, –2010. –161. – Pp. 86–93. DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015702005.

Jubran B.A., Zurigat Y.H., Goosen M.F.A., 2005 — Jubran B.A., Zurigat Y.H., Goosen M.F.A. // Petroleum Science and Technology. – 205, – 3. DOI: 10.1081/LFT-200038223.

Karami H.R., Mowla D., Nonnewton J., 2012 — Karami H.R., Mowla D., Nonnewton J. Investigation of the effects of various parameters on pressure drop reduction in crude oil pipelines by drag reducing agents // Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics. Fluid Mech., –2012. –177(178). –Pp. 37–45. https://doi.org/10.1016/j.jnnfm.2012.04.001.

Manzhai V.N., Le Grand M.C., Abdousaliyev A.V., 2014 — *Manzhai V.N., Le Grand M.C., Abdousaliyev A.V.* // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, –2014.– 21. DOI: 10.1088/1755-1315/21/1/012028.

Nikolaev A.K., Demenin E.S., Plotnikova K.I., 2021 — *Nikolaev A.K., Demenin E.S., Plotnikova K.I.* Study of the use of anti-turbulent and depressant additives in pipeline transport of high-viscosity oil, // Equipment and technologies for the oil and gas complex. – 2021. - 4(124). Pp. 54–57. DOI: 10.33285/1999-6934-2021-4(124)-54-57.

Nikolaev A.K., Zaripova N.A., Erashov A.A., Demenin E.S., 2018 — *Nikolaev A.K., Zaripova N.A., Erashov A.A., Demenin E.S.* // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. –2018. –194. DOI: 10.1088/1755-1315/194/8/082029.

Priyanka E.B., Maheswari C., Meenakshipriya B., 2016 — *Priyanka E.B., Maheswari C., Meenakshipriya B.* // Journal of Applied Research and Technology. –2016, – 14. ISSN: 1665–6423. № 04-2003-041513244000-203.

Rusinov P.G., Balashov A.V., Nifantiev I.E., 2016 — *Rusinov P.G., Balashov A.V., Nifantiev I.E.* Anti-turbulent additive and method for its production, patent. –2016. – № 10. RU (11) 2 579 588(13) C1, 04/10/2016.

Yan Ch., 2020 – *Yan Ch.* Evaluation of the influence of track destruction of anti-turbulent additives on their hydraulic efficiency, thesis for the degree of candidate of technical sciences, - 2020.

CONTENTS

BIOTECHNOLOGY

B.Z. Abdeliev, D. Baiboz STUDY OF GENETIC DIVERSITY OF PATHOGENIC MICROORGANISMS.....	5
D. Zhanabergenova, Zh.Zh.Chunetova, B.A. Zhumabaeva GENETIC ANALYSIS OF THE TYPES OF DEVELOPMENT OF MUTANT LINES FROM COMMON WHEAT VARIETIES.....	13
M.G. Kairova, P.V. Vesselova, G.M. Kudabayeva, G.T. Sitpayeva POPLAR SPECIES IN KAZAKHSTAN AND SOME GENOTYPING PROBLEMS.....	24
M.T. Kargayeva, Kh.A. Aubakirov, B.I. Toktosunov, S.D. Mongush, A.Kh. Abdurasulov, D.A. Baimukanov BIOLOGICAL FEATURES OF MILKING MARES OF LOCAL EURASIAN BREEDS.....	33
S. Manukyan ANISOTROPY OF MICROORGANISMS IN DIFFERENT PARTS OF DUTCH CHEESE MASS PRODUCED BY TWO-SIDED PRESSING.....	43
A.A. Nussupova, S.B. Dauletbaeva STUDY OF PRODUCTIVITY AND LEAF RUST RESISTANCE OF WHEAT ISOGENIC LINES.....	52
V.G. Semenov, V.G. Tyurin, A.V. Luzova, E.P. Simurzina, A.P. Semenova SCIENTIFIC AND PRACTICAL JUSTIFICATION OF THE USE OF IMMUNOTROPIC AGENTS IN THE PREVENTION AND TREATMENT OF COW MASTITIS.....	68
Ye.A. Simanchuk, G.J. Sultangazina, A.N. Kuprijanov NATURAL OVERGROWTH OF THE DUMP SITES OF MINING ENTERPRISES IN THE KOSTANAY REGION.....	82

PHYSICAL SCIENCES

Zh.K. Aimasheva, D.V. Ismailov, Z.A. Oman, B.G. Orynbai SYNTHESIS OF FULLERENES IN ANC DISCHARGE AND THEIR PURIFICATION FROM IMPURITIES.....	96
---	----

E.B. Arinov, L.R. Kundakova, N.A. Ispulov, A.K. Seitkhanova, A.Zh. Zhumabekov THE SOLUTION OF DIFFERENTIAL EQUATIONS FOR ELASTIC DISTURBANCES IN THE CYLINDRICAL COORDINATE SYSTEM WITH REGARD TO THE INERTIAL COMPONENTS.....	108
D.M. Zharylgapova, A.Zh. Seytmuratov SHORT-RANGE RADIO COMMUNICATION SYSTEMS CALCULATION.....	125
V.Yu. Kim, I.M. Izmailova, A.Z. Umirbayeva, A. Beket, B. Talgatuly AN ASTRONOMICAL CALENDAR. A PROGRAM AND ALGORITHMS.....	136
N.O. Koylyk, A. Dalelkhankyzy, G.A. Kaptagay, A. Kokazhaeva, N.B. Shambulov GROUP-THEORETICAL RESEARCH COLLECTIVE STATES OF MULTI-NUCLEON NUCLEAR SYSTEMS.....	148
A. Marasulov, I.I. Safarov, M.Kh. Tessaev, G.A. Abdraimova, A.S. Tolep PROPERTIES OF SURFACE WAVES IN A VISCOELASTIC HOLLOW CYLINDER.....	164
A.Zh. Omar, A.B. Manapbayeva, M.T. Kyzgarina, T. Komeshe, N.Sh. Alimgazinova STUDIES OF REGIONS IN THE AQUILA MOLECULAR CLOUD BY THE METHOD OF CO SELECTIVE DISSOCIATION.....	180
A.J. Ospanova, G.N. Shynykulova, N.N. Shynykulova, Y.B. Jumanov ACTION OF EXTERNAL MAGNETS ON A THREE-PHASE ELECTRIC GENERATOR.....	192
Shomshekova S.A. A REVIEW OF MACHINE LEARNING APPLICATIONS IN ASTRONOMY AND ASTROPHYSICS.....	206

CHEMISTRY

G.B. Begimbayeva, R.O. Orynbassar, A.K. Zhumabekova ON THE IMPACT OF STORAGE TIME ON THE COMPOSITION OF TECHNOLOGICAL LIME FOR FERROALLOY PRODUCTION.....	216
--	-----

N.B. Zhumadilda, N.G. Gemejyeva, Zh.Zh. Karzhaubekova, N.A. Sultanova PHYTOCHEMICAL INVESTIGATION OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES OF <i>HEDYSARUM SONGORICUM</i> BONG.....	229
S.A. Dzhumadullaeva, A.B. Bayeshov, A.V. Kolesnikov CATALYTIC SYNTHESIS OF CARBOXYLIC ACID HYDRAZIDES OF VARIOUS STRUCTURES.....	243
M.M. Zinalieva, Z.Zh. Seidakhmetova, E.K. Assembayeva, D.E. Nurmukhanbetova, A.N. Aralbaeva THE STUDY OF THE BIOLOGICAL VALUE OF CURD CHEESES ENRICHED WITH HERBAL SUPPLEMENTS.....	254
M.R. Mamedova, A.B. Ibraimov, K. Ashimuly, S.S. Yegemova, M.B. Alimzhanova VALIDATION OF THE METHODOLOGY FOR THE ANALYSIS OF ENDOCRINE DESTRUCTORS IN WATER.....	265
S.S. Mendigaliyeva, I.S. Irgibaeva, N.N. Barashkov, T.V. Sakhno, A.A. Aldongarov SYNTHESIS AND APPLICATION OF NANOTRACERS BASED ON MIXED IRON-COBALT OXIDE FOR EVALUATION OF THE QUALITY OF MIXING IN LIQUID FEED.....	282
Zh.D. Tanatarova, E.K. Assembayeva, Z.Zh. Seidakhmetova, D.E. Nurmukhanbetova, A.B. Toktamyssova STUDY OF QUALITY AND SAFETY OF PROBIOTIC DAIRY PRODUCTS.....	293
A. Tukibayeva, R. Pankiewicz, A. Zhylysbayeva, G. Adyrbekova, D. Asylbekova SPECTROSCOPIC AND SEMIEMPIRICAL INVESTIGATIONS OF LASALOCID ESTER WITH 2,2'-TRITHIOETHANOL (LasTio) AND ITS COMPLEXES WITH MONOVALENT CATIONS.....	304
A.A. Sharipova, A.B. Isaeva, M. Lotfi, M.O. Issakhov, A.A. Babayev, S.B. Aidarova, G.M. Madybekova ANTI-TURBULENT MATERIALS BASED ON SURFACTANTS AND NANOPARTICLES.....	314

МАЗМҰНЫ

БИОТЕХНОЛОГИЯ

Б.З. Абделиев, Д. Байбоз
ПАТОГЕНДІК МИКРООРГАНИЗМДЕРДІҢ ГЕНЕТИКАЛЫҚ
ӘРТҮРЛІЛІГІН ЗЕРТТЕУ.....5

Д. Жаңаберженова, Ж.Ж. Чунетова, Б.А. Жумабаева
ЖАЗДЫҚ ЖҰМСАҚ БИДАЙ СОРТТАРЫНАН АЛЫНҒАН МУТАНТТЫ
ЛИНИЯЛАРДЫҢ ДАМУ ТИПТЕРІНЕ ГЕНЕТИКАЛЫҚ ТАЛДАУ.....13

М.Ж. Каирова, П.В. Веселова, Г.М. Кудабаяева, Г.Т. Ситпаева
ҚАЗАҚСТАННЫҢ ТЕРЕК ТҮРЛЕРІ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ
ГЕНОТИПТЕУ МӘСЕЛЕСІ.....24

**М.Т. Каргаева, Х.А. Аубакиров, Б.И. Токтосунов, С.Д. Монгуш,
А.Х. Абдурасулов, Д.А. Баймуканов**
ЕУРАЗИЯНЫҢ ЖЕРГІЛІКТІ ТҰҚЫМДАРЫНЫҢ САУЫН БИЕЛЕРІНІҢ
БИОЛОГИЯЛЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ.....33

С.С. Манукян
ЕКІ ЖАҚТЫ ПРЕСС АРҚЫЛЫ ӨНДІРІЛГЕН ГОЛЛАНДИЯ ІРІМШІГІ
МАССАСЫНЫҢ ӘРТҮРЛІ АЙМАҚТАРЫНДАҒЫ
МИКРООРГАНИЗМДЕРДІҢ АНИЗОТРОПИЯСЫ.....43

А.А. Нусупова, С.Б. Даулетбаева
БИДАЙДЫҢ ИЗОГЕНДІ ЛИНИЯЛАРЫНЫҢ ӨНІМДІЛІГІ МЕН
ҚОҢЫР ТАТҚА ТӨЗІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ.....52

В.Г. Семенов, В.Г. Тюрин, А.В. Лузова, Е.П. Симурзина, А.П. Семенова
СИБИРЛАРДА МАСТИТЕТТІҢ АЛДЫН АЛУ ЖӘНЕ ЕМДЕУ ҮШІН
ИММУНОТРОПТЫҚ ДӘРІЛЕРДІ ҚОЛДАНУДЫҢ
ҒЫЛЫМИ-ПРАКТИКАЛЫҚ НЕГІЗДЕУІ.....68

Е.А. Симанчук, Г.Ж. Сұлтанғазина, А.Н. Куприянов
ҚОСТАНАЙ ОБЛЫСЫНЫҢ ТАУ КЕН ӨНДІРУ ӨНЕРКӘСІБІ
КӘСІПОРЫНДАРЫНЫҢ ҮЙІНДІЛЕРІНІҢ ТАБИҒИ ӨСУІ.....82

ФИЗИКА

Ж.К. Аймашева, Д.В. Исмаилов, З.Ә. Оман, Б.Ғ. Орынбай
ФУЛЛЕРЕННІҢ ДОҒАЛЫҚ РАЗРЯДТАҒЫ СИНТЕЗІ ЖӘНЕ
ОНЫ ҚОСПАЛАРДАН ТАЗАРТУ.....96

Е.Б. Аринов, Л.Р. Кундакова, Н.А. Испулов, А.К. Сейтханова, А.Ж. Жумабеков ЦИЛИНДРЛІК КООРДИНАТАЛАР ЖҮЙЕСІНДЕ ИНЕРЦИЯЛЫҚ ҚОСЫЛҒЫШТАРДЫ ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП, СЕРПІМДІ АУЫТҚУЛАР ҮШІН ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ТЕҢДЕУЛЕРДІ ШЕШУ.....	108
Д.М. Жарылғапова, А.Ж. Сейтмұратов ҚЫСҚА АРАЛЫҚТАҒЫ РАДИОБАЙЛАНЫС ЖҮЙЕЛЕРІН ЕСЕПТЕУ....	125
В.Ю. Ким, И.М. Измайлова, А.Ж. Умирбаева, А. Бекет, Б. Талғатұлы АСТРОНОМИЯЛЫҚ КҮНТІЗБЕ. БАҒДАРЛАМА ЖӘНЕ АЛГОРИТМДЕР.....	136
Н.О. Қойлық, А. Далелханқызы, Г.Ә. Қаптағай, А.Б. Кокажаева, Н.Б. Шамбулов КӨП НУКЛОНДЫ ЯДРОЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІҢ ҰЖЫМДЫҚ КҮЙІН ТЕОРИЯЛЫҚ–ТОПТЫҚ ЗЕРТТЕУ.....	148
А. Марасулов, И.И. Сафаров, М.Х. Тешаев, Г.А. Абдраимова, Ә.С. Төлеп ТҮТҚЫР-СЕРПІМДІ ҚУЫС ЦИЛИНДРДЕГІ БЕТТІК ТОЛҚЫНДАРДЫҢ ҚАСИЕТТЕРІ.....	164
А.Ж. Омар, А.Б. Манапбаева, М.Т. Кызгарина, Т. Көмеш, Н.Ш. Алимгазинова AQUILA МОЛЕКУЛАЛЫҚ БҰЛТЫНЫҢ АЙМАҚТАРЫН СО ТАҢДАМАЛЫ ДИССОЦИАЦИЯСЫ ӘДІСІМЕН ЗЕРТТЕУ.....	180
А.Ж. Оспанова, Г.Н. Шиникулова, Н.Н. Шиникулова, Е.Б. Джуманов ҮШФАЗАЛЫ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРЛАРЫНА СЫРТҚЫ МАГНИТТЕРДІҢ ӘСЕР.....	192
С.А. Шомшекова АСТРОНОМИЯ ЖӘНЕ АСТРОФИЗИКА САЛАЛАРЫНДА МАШИНАМЕН ОҚЫТУДЫ ҚОЛДАНУ БОЙЫНША ШОЛУ.....	206
ХИМИЯ	
Г.Б. Бегимбаева, Р.О. Орынбасар, А.К. Жумабекова ФЕРРОҚОРЫТПА ӨНДІРІСІНДЕГІ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ӘКТИҢ ҚҰРАМЫНА САҚТАУ УАҚЫТЫНЫҢ ӘСЕРІ.....	216
Н.Б. Жұмаділда, Н.Г. Гемеджиева, Ж.Ж. Қаржаубекова, Н.А. Сұлтанова <i>HEDYSARUM SONGORICUM</i> BONG. БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІ ЗАТТАРЫНЫҢ ФИТОХИМИЯЛЫҚ ТАЛДАУ.....	229

С.А. Жұмаділлаева, А.Б. Баешов, А.В. Колесников ҚҰРЫЛЫСЫ ӘРТҮРЛІ КАРБОН ҚЫШҚЫЛДАРЫ ГИДРАЗИДТЕРІНІҢ КАТАЛИТТІК СИНТЕЗІ.....	243
М.М. Зиналиева, З.Ж. Сейдахметова, Э.К. Асембаева, Д.Е. Нурмуханбетова, А.Н. Аралбаева ӨСІМДІК ТЕКТІ ҚОСПАЛАРМЕН БАЙТЫЛҒАН СҮЗБЕ ІРІМШКТЕРДІҢ БИОЛОГИЯЛЫҚ ҚҰНДЫЛЫҒЫН ЗЕРТТЕУ.....	254
М.Р. Мамедова, А.Б. Ибраимов, К. Ашимулы, С.С. Егемова, М.Б. Алимжанова СУДАҒЫ ЭНДОКРИНДЫҚ ДИСТРУКТОРЛАРДЫ ТАЛДАУ ӘДІСТЕМЕСІН ВАЛИДАЦИЯЛАУ.....	265
С.С. Мендіғалиева, И.С. Иргібаева, Н.Н. Барашков, Т.В. Сахно, А.А. Алдонгаров СҮЙЫҚ АЗЫМДА АРАЛАСТЫРУ САПАСЫН БАҒАЛАУ ҮШІН АРАС ТЕМІР-КОБАЛТ ОКСИДІНІҢ НЕГІЗІНДЕГІ НАНОТРЕКЕРЛЕРДІ СИНТЕЗІ ЖӘНЕ ҚОЛДАНУ.....	282
Ж.Д. Танатарова, Э.К. Асембаева, З.Ж. Сейдахметова, Д.Е. Нурмуханбетова, А.Б. Токтамысова ПРОБИОТИКАЛЫҚ СҮТ ӨНІМДЕРІНІҢ САПАСЫ МЕН ҚАУІПСІЗДІГІН ЗЕРТТЕУ.....	293
А.С. Тукибаева, Р. Панкевич, А. Жылысбаева, Г. Адырбекова, Д. Асылбекова ЛАЗАЛОЦИДТІҢ 2,2'-ТРИТИОЭТАНОЛМЕН ЭФИРИН (LasTio) ЖӘНЕ ОНЫҢ МОНОВАЛЕНТТІ КАТИОНДАРМЕН КОМПЛЕКСТЕРІН СПЕКТРОСКОПИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ЖАРТЫЛАЙ ЭМПИРИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУ.....	304
А.А. Шарипова, А.Б. Исаева, М. Лотфи, М.О. Исахов, А.А. Бабаев, С.Б. Айдарова, Г.М. Мадыбекова БЕТТІК БЕЛСЕНДІ ЗАТТАР МЕН НАНОБӨЛШЕКТЕРГЕ НЕГІЗДЕЛГЕН ТУРБУЛЕНТКЕ ҚАРСЫ МАТЕРИАЛДАР.....	314

СОДЕРЖАНИЕ**БИОТЕХНОЛОГИЯ**

Б.З. Абделиев, Д. Байбоз ИЗУЧЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ ПАТОГЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ.....	5
Д. Жаңаберженова, Ж.Ж. Чунетова, Б.А. Жумабаева ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТИПОВ РАЗВИТИЯ МУТАНТНЫХ ЛИНИЙ ОТ СОРТОВ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ.....	13
М.Ж. Каирова, П.В. Веселова, Г.М. Кудабаева, Ситпаева Г.Т. ВИДЫ ТОПОЛЯ В КАЗАХСТАНЕ И НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ГЕНОТИПИРОВАНИЯ.....	24
М.Т. Каргаева, Х.А. Аубакиров, Б.И. Токтосунов, С.Д. Монгуш, А.Х. Абдурасулов, Д.А. Баймуканов БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДОЙНЫХ КОБЫЛ МЕСТНЫХ ПОРОД ЕВРАЗИИ.....	33
С.С. Манукян АНИЗОТРОПИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ В РАЗЛИЧНЫХ УЧАСТКАХ ГОЛЛАНДСКОЙ СЫРНОЙ МАССЫ, ВЫРАБОТАННОЙ ДВУХСТОРОННИМ ПРЕССОВАНИЕМ.....	43
А.А. Нусупова, С.Б. Даулетбаева ИЗУЧЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ К БУРОЙ РЖАВЧИНЕ ИЗОГЕННЫХ ЛИНИЙ ПШЕНИЦЫ.....	52
В.Г. Семенов, В.Г. Тюрин, А.В. Лузова, Е.П. Симурзина, А.П. Семенова НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИММУНОТРОПНЫХ СРЕДСТВ В ПРОФИЛАКТИКЕ И ТЕРАПИИ МАСТИТА КОРОВ.....	68
Е.А. Симанчук, Г.Ж. Султангазина, А.Н. Куприянов ЕСТЕСТВЕННОЕ ЗАРАСТАНИЕ ОТВАЛОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ КОСТАНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ.....	82
ФИЗИКА	
Ж.К. Аймашева, Д.В. Исмаилов, З.Э. Оман, Б.Ф. Орынбай СИНТЕЗ Фуллеренов в дуговом разряде и их очистка от примесей.....	96

Е.Б. Аринов, Л.Р. Кундакова, Н.А. Испулов, А.К. Сейтханова, А.Ж. Жумабеков РЕШЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ УПРУГИХ ВОЗМУЩЕНИЙ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ С УЧЕТОМ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ.....	108
Д.М. Жарылгапова, А.Ж. Сейтмуратов РАСЧЕТ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ МАЛОЙ ДАЛЬНОСТИ.....	125
В.Ю. Ким, И.М. Измайлова, А.Ж. Умирбаева, А. Бекет, Б. Талгатулы АСТРОНОМИЧЕСКИЙ КАЛЕНДАРЬ. ПРОГРАММА И АЛГОРИТМЫ.....	136
Н.О. Койлык, А. Далелханқызы, Г.Ә. Қаптағай, А.Б. Кокажаева, Н.Б. Шамбулов ТЕОРЕТИКО–ГРУППОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЛЕКТИВНЫХ СОСТОЯНИЙ МНОГОНУКЛОННЫХ ЯДЕРНЫХ СИСТЕМ.....	148
А. Марасулов, И.И. Сафаров, М.Х. Тешаев, Г.А. Абдраимова, А.С. Тулеп СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН В ВЯЗКО-УПРУГОМ ПОЛОМ ЦИЛИНДРЕ.....	164
А.Ж. Омар, А.Б. Манапбаева, М.Т. Кызгарина, Т. Комеш, Н.Ш. Алимгазина ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИКОЙ С СЕЛЕКТИВНОЙ ДИССОЦИАЦИИ ОБЛАСТЕЙ МОЛЕКУЛЯРНОГО ОБЛАКА AQUILA.....	180
А.Ж. Оспанова, Г.Н. Шиникулова, Н.Н. Шиныкулова, Е.Б. Джуманов ВОЗДЕЙСТВИЕ ВНЕШНИХ МАГНИТОВ НА ТРЕХФАЗНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ.....	192
С.А. Шомшекова ОБЗОР ПО ПРИМЕНЕНИЮ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В АСТРОНОМИИ И АСТРОФИЗИКЕ.....	206

ХИМИЯ

Г.Б. Бегимбаева, Р.О. Орынбасар, А.К. Жумабекова О ВОЗДЕЙСТВИИ СРОКОВ ХРАНЕНИЯ НА СОСТАВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗВЕСТИ ДЛЯ ФЕРРОСПЛАВНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	216
---	-----

Н.Б. Жумадила, Н.Г. Гемеджиева, Ж.Ж. Каржаубекова, Н.А. Султанова ФИТОХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ <i>HEDYSARUM SONGORICUM</i> BONG.....	229
С.А. Джумадуллаева, А.Б. Баешов, А.В. Колесников КАТАЛИТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ГИДРАЗИДОВ КАРБОНОВЫХ КИСЛОТ РАЗЛИЧНОГО СТРОЕНИЯ.....	243
М.М. Зиналиева, З.Ж. Сейдахметова, Э.К. Асембаева, Д.Е. Нурмуханбетова, А.Н. Аралбаева ИЗУЧЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ ТВОРОЖНЫХ СЫРОВ, ОБОГАЩЕННЫХ РАСТИТЕЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ.....	254
М.Р. Мамедова, А.Б. Ибраимов, К. Ашимулы, С.С. Егемова, М.Б. Алимжанова ВАЛИДАЦИЯ МЕТОДОЛОГИИ АНАЛИЗА ЭНДОКРИННЫХ ДЕСТРУКТОРОВ В ВОДЕ.....	265
С.С. Мендигалиева, С. Иргибаетова, Н.Н. Барашков, Т.В. Сахно СИНТЕЗ И ПРИМЕНЕНИЕ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА И КОБАЛЬТА В КАЧЕСТВЕ НАНОТРЕЙСЕРОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СМЕШИВАНИЯ В ЖИДКИХ КОРМАХ.....	282
Ж.Д. Танатарова, Э.К. Асембаева, З.Ж. Сейдахметова, Д.Е. Нурмуханбетова, А.Б. Токтамысова ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ПРОБИОТИЧЕСКИХ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ.....	293
А.С. Тукибаева, Р. Панкевич, А. Жылысбаева, Г. Адырбекова, Д. Асылбекова СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ И ПОЛУЭМПИРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФИРА ЛАЗАЛОЦИДА С 2,2'-ТРИТИОЭТАНОЛОМ (LasTio) И ЕГО КОМПЛЕКСОВ С ОДНОВАЛЕНТНЫМИ КАТИОНАМИ.....	304
А.А. Шарипова, А.Б. Исаева, М. Лотфи, М.О. Исахов, А.А. Бабаев, С.Б. Айдарова, Г.М. Мадыбекова ПРОТИВОТУРБУЛЕНТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПАВ И НАНОЧАСТИЦ.....	314

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

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

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

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

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

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

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan.

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

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

**www.nauka-nanrk.kz
ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)
<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>**

Заместитель директор отдела издания научных журналов НАН РК Р. Жәліқызы

Редакторы: М.С. Ахметова, Д.С. Аленов

Верстка на компьютере Г.Д. Жадырановой

Подписано в печать 30.03.2023.

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

22,0 п.л. Тираж 300. Заказ 1.