

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

2024 • 2



ҚАЙЫРЫМДЫЛЫҚ ҚОРЫ
HALYK
CHARITY FOUNDATION

«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ
«ХАЛЫҚ» ЖҚ

БАЯНДАМАЛАРЫ

ДОКЛАДЫ

РОО «НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН»
ЧФ «ХАЛЫҚ»

REPORTS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
«Halyk» Private Foundation

PUBLISHED SINCE JANUARY 1944

ALMATY, NAS RK



ЧФ «ХАЛЫҚ»

В 2016 году для развития и улучшения качества жизни казахстанцев был создан частный Благотворительный фонд «Халык». За годы своей деятельности на реализацию благотворительных проектов в областях образования и науки, социальной защиты, культуры, здравоохранения и спорта, Фонд выделил более 45 миллиардов тенге.

Особое внимание Благотворительный фонд «Халык» уделяет образовательным программам, считая это направление одним из ключевых в своей деятельности. Оказывая поддержку отечественному образованию, Фонд вносит свой посильный вклад в развитие качественного образования в Казахстане. Тем самым способствуя росту числа людей, способных менять жизнь в стране к лучшему – профессионалов в различных сферах, потенциальных лидеров и «великих умов». Одной из значимых инициатив фонда «Халык» в образовательной сфере стал проект *Ozgeris powered by Halyk Fund* – первый в стране бизнес-инкубатор для учащихся 9-11 классов, который помогает развивать необходимые в современном мире предпринимательские навыки. Так, на содействие малому бизнесу школьников было выделено более 200 грантов. Для поддержки талантливых и мотивированных детей Фонд неоднократно выделял гранты на обучение в Международной школе «Мирас» и в *Astana IT University*, а также помог казахстанским школьникам принять участие в престижном конкурсе «*USTEM Robotics*» в США. Авторские работы в рамках проекта «Тәлімгер», которому Фонд оказал поддержку, легли в основу учебной программы, учебников и учебно-методических книг по предмету «Основы предпринимательства и бизнеса», преподаваемого в 10-11 классах казахстанских школ и колледжей.

Помимо помощи школьникам, учащимся колледжей и студентам Фонд считает важным внести свой вклад в повышение квалификации педагогов, совершенствование их знаний и навыков, поскольку именно они являются проводниками знаний будущих поколений казахстанцев. При поддержке Фонда «Халык» в южной столице был организован ежегодный городской конкурс педагогов «*Almaty Digital Ustaz*».

Важной инициативой стал реализуемый проект по обучению основам финансовой грамотности преподавателей из восьми областей Казахстана, что должно оказать существенное влияние на воспитание финансовой грамотности и предпринимательского мышления у нового поколения граждан страны.

Необходимую помощь Фонд «Халык» оказывает и тем, кто особенно остро в ней нуждается. В рамках социальной защиты населения активно проводится работа по поддержке детей, оставшихся без родителей, детей и взрослых из социально уязвимых слоев населения, людей с ограниченными возможностями, а также обеспечению нуждающихся социальным жильем, строительству социально важных объектов, таких как детские сады, детские площадки и физкультурно-оздоровительные комплексы.

В копилку добрых дел Фонда «Халык» можно добавить оказание помощи детскому спорту, куда относится поддержка в развитии детского футбола и карате в нашей стране. Жизненно важную помощь Благотворительный фонд «Халык» оказал нашим соотечественникам во время недавней пандемии COVID-19. Тогда, в разгар тяжелой борьбы с коронавирусной инфекцией Фонд выделил свыше 11 миллиардов тенге на приобретение необходимого медицинского оборудования и дорогостоящих медицинских препаратов, автомобилей скорой медицинской помощи и средств защиты, адресную материальную помощь социально уязвимым слоям населения и денежные выплаты медицинским работникам.

В 2023 году наряду с другими проектами, нацеленными на повышение благосостояния казахстанских граждан Фонд решил уделить особое внимание науке, поскольку она является частью общественной культуры, а уровень ее развития определяет уровень развития государства.

Поддержка Фондом выпуска журналов Национальной Академии наук Республики Казахстан, которые входят в международные фонды Scopus и Wos и в которых публикуются статьи отечественных ученых, докторантов и магистрантов, а также научных сотрудников высших учебных заведений и научно-исследовательских институтов нашей страны является не менее значимым вкладом Фонда в развитие казахстанского общества.

**С уважением,
Благотворительный Фонд «Халык»!**

Б А С Р Е Д А К Т О Р :

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

Р Е Д А К Ц И Я Л Ы Қ А Л Қ А :

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 онтайландыру» кафедрасының меңгерушісі, (Санкт-Петербург, Ресей), Н = 14

ЛЮКШИН 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 Хамдар университетінің шығыс медицина факультеті, Шығыс медицинасы колледжінің профессоры, (Карачи, Пәкістан), Н = 21

ЩЕПЕТКИН 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

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

КАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрәліұлы, 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

ЖУСНОВ 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 Асқар 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 № КЗ93VPY00025418 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>

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

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

ЛЮКШИН 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

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

ЖУСУПОВ Марат Абжанович, 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 Нургали Жаббаевич, 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, Казахстанско-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>

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

RAMANKULOVA 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>

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC
OF KAZAKHSTAN
ISSN 2224-5227
Volume 2. Number 350 (2024), 73–83
<https://doi.org/10.32014/2024.2518-1483.279>

UDC 004.021

© **Y.T. Kozhagulov, D.M. Zhexebay, S.A. Sarmanbetov*, N.M. Ussipov,
K.T. Kopbay, 2024**

al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: sarmanbetov.sanzhar@gmail.com

IDENTIFICATION OF DIGITAL MODULATION BASED ON INFORMATIONAL ENTROPY

Kozhagulov Yeldos — Lead researcher, PhD, Lecturer of Department of Physics and Technology, Al-Farabi Kazakh National University. 050000. Almaty, Kazakhstan

E-mail: kazgu.kz@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5714-832X>;

Zhexebay Dauren — PhD, Al-Farabi Kazakh National University. 050000. Almaty, Kazakhstan

E-mail: zhexebay92@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3974-0896>;

Sarmanbetov Sanzhar — PhD candidate, Al-Farabi Kazakh National University. 050000. Almaty, Kazakhstan

E-mail: sarmanbetov.sanzhar@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1749-2163>;

Ussipov Nurzhan — PhD candidate, Al-Farabi Kazakh National University. 050000. Almaty, Kazakhstan

E-mail: ussipov.nurzhan@kaznu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-2512-3280>;

Kopbay Kymbat — PhD student, Al-Farabi Kazakh National University. 050000. Almaty, Kazakhstan

E-mail: kopbay.kymbat0827@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1583-2099>.

Abstract. The classification of communication signals in low signal-to-noise ratio (SNR) environments poses a significant challenge, particularly due to the dynamic and complex nature of these conditions. Traditional signal recognition methods, which are primarily effective in stable SNR scenarios, often fail to deliver reliable results when faced with fluctuating SNR levels. Addressing this critical gap, our research introduces a novel entropy-based methodology for identifying modulation types under variable SNR conditions. This innovative approach utilizes a diverse array of entropy measures to extract and differentiate signal characteristics, specifically targeting various phase modulation types such as BPSK, QPSK, 8PSK, 16PSK, 32PSK, and 64PSK. The versatility and adaptability of the proposed algorithm mark a significant departure from conventional feature extraction methods, enabling it to maintain high accuracy in environments where traditional approaches are less effective. Through extensive experimentation and analysis, our algorithm has demonstrated superior performance in challenging conditions, achieving robust and reliable signal classification even at SNRs as low as -4 dB. This advancement not only showcases the potential of entropy-based approaches in enhancing signal classification in complex communication systems but also sets a new benchmark for future research in the field. The implications of this study are far-reaching, offering practical solutions for improving the efficiency and reliability of communication technologies in real-world scenarios.

Keywords: entropy, modulation, classification, MPSK, SNR

© **Е.Т. Кожагулов, Д.М. Жексебай, С.А. Сарманбетов*, Н.М. Үсіпов,
К.Т. Көпбай, 2024**

әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: sarmanbetov.sanzhar@gmail.com

АҚПАРАТТЫҚ ЭНТРОПИЯНЫҢ НЕГІЗІНДЕ САНДЫҚ МОДУЛЯЦИЯНЫ АНЫҚТАУ

Кожагулов Елдос — жетекші ғылыми қызметкер, PhD докторы, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ физика және техника кафедрасының оқытушысы, Алматы, Қазақстан

E-mail: kazgu.kz@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5714-832X>;

Жексебай Даурен — PhD докторы, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан

E-mail: zheexebay92@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3974-0896>;

Сарманбетов Санжар — PhD кандидаты, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан

E-mail: sarmanbetov.sanzhar@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1749-2163>

Үсіпов Нұржан — PhD кандидаты, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан

E-mail: ussipov.nurzhan@kaznu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-2512-3280>;

Көпбай Қымбат — PhD докторанты, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ. 050000. Алматы, Қазақстан

E-mail: kopbay.kymbat0827@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1583-2099>.

Аннотация. Сигнал-шу қатынасы (SNR) төмен орталардағы байланыс сигналдарының жіктелуі, әсіресе осы жағдайлардың динамикалық және күрделі сипатына байланысты айтарлықтай қиындық тудырады. Ең алдымен тұрақты SNR сценарийлерінде тиімді болатын дәстүрлі сигналды тану әдістері SNR деңгейлерінің құбылуымен бетпе-бет келгенде сенімді нәтижелерді бере алмайды. Осы маңызды олқылықты жою үшін біздің зерттеу айнымалы SNR жағдайында модуляция түрлерін анықтауға арналған жаңа энтропияға негізделген әдістемені енгізеді. Бұл инновациялық тәсіл BPSK, QPSK, 8PSK, 16PSK, 32PSK және 64PSK сияқты әртүрлі фазалық модуляция түрлеріне бағытталған сигнал сипаттамаларын шығару және саралау үшін әртүрлі энтропия түрлерін пайдаланады. Ұсынылған алгоритмнің әмбебаптығы мен бейімділігі дәстүрлі тәсілдер тиімділігі төмен орталарда жоғары дәлдікті сақтауға мүмкіндік беретін әдеттегі мүмкіндіктерді шығару әдістерінен айтарлықтай ауытқуды көрсетеді. Кең ауқымды эксперименттер мен талдаулар арқылы біздің алгоритм күрделі жағдайларда жоғары өнімділікті көрсетті, тіпті -4 дБ дейін төмен SNR-де сенімді және сенімді сигнал классификациясына қол жеткізді. Бұл прогресс күрделі байланыс жүйелеріндегі сигналдарды жіктеуді жақсартудағы энтропияға негізделген тәсілдердің әлеуетін көрсетіп қана қоймайды, сонымен қатар осы саладағы болашақ зерттеулер үшін жаңа бағдарды белгілейді. Бұл зерттеудің салдары кең ауқымды болып табылады, нақты әлемдегі сценарийлерде коммуникациялық технологиялардың тиімділігі мен сенімділігін арттыру үшін практикалық шешімдерді ұсынады.

Түйін сөздер: энтропия, модуляция, классификация, MPSK, SNR

© **Е.Т. Кожугулов, Д.М. Жексебай, С.А. Сарманбетов*, Н.М. Усипов, К.Т. Копбай, 2024**

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан.

E-mail: sarmanbetov.sanzhar@gmail.com

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЦИФРОВОЙ МОДУЛЯЦИИ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЭНТРОПИИ

Кожугулов Елдос — ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, преподаватель физико-технического факультета Казахского национального университета имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

E-mail: kazgu.kz@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5714-832X>;

Жексебай Даурен — кандидат биологических наук, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

E-mail: zhexebay92@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3974-0896>;

Сарманбетов Санжар — кандидат технических наук, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

E-mail: sarmanbetov.sanzhar@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1749-2163>;

Усипов Нуржан — докторант, КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

E-mail: ussipov.nurzhan@kaznu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-2512-3280>;

Копбай Кымбат — PhD студент КазНУ им. аль-Фараби. 050000. Алматы, Казахстан

E-mail: kopbay.kymbat0827@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1583-2099>.

Аннотация. Классификация сигналов связи в средах с низким отношением сигнал/шум (SNR) представляет собой серьезную проблему, особенно из-за динамического и сложного характера этих условий. Традиционные методы распознавания сигналов, которые в первую очередь эффективны в сценариях со стабильным отношением сигнал/шум, часто не дают надежных результатов при колебаниях уровней отношения сигнал/шум. Что-бы устранить этот критический пробел, наше исследование представляет новую методологию, основанную на энтропии, для определения типов модуляции в условиях переменного отношения сигнал/шум. Этот инновационный подход использует разнообразный набор энтропийных мер для извлечения и дифференциации характеристик сигнала, в частности, для различных типов фазовой модуляции, таких как BPSK, QPSK, 8PSK, 16PSK, 32PSK и 64PSK. Универсальность и адаптивность предложенного алгоритма существенно отличают его от традиционных методов извлечения признаков, позволяя ему сохранять высокую точность в средах, где традиционные подходы менее эффективны. Благодаря обширным экспериментам и анализу наш алгоритм продемонстрировал превосходную производительность в сложных условиях, обеспечив надежную и надежную классификацию сигналов даже при таких низких отношениях сигнал/шум, как -4 дБ. Это достижение не только демонстрирует потенциал энтропийных подходов в улучшении классификации сигналов в сложных системах связи, но и устанавливает новый ориентир для будущих исследований в этой области.

Значение этого исследования имеет далеко идущие последствия: оно предлагает практические решения для повышения эффективности и надежности коммуникационных технологий в реальных сценариях.

Ключевые слова: энтропия, модуляция, классификация, MPSK, SNR

Introduction

Currently, technological advances have made classification and identification an integral part of the data transmission industry. This is a relatively new area of research in signal analysis that continues to attract a lot of interest, which has led to its considerable prominence in recent years. Classification plays a key role in many applications, for example, in military and civilian communication systems including monitoring, radio-observation, electronic warfare, cognitive radio (CR) and software-defined radio (SDR) (Zhou et al., 2019; Zhao & Yang, 2017; Li & Ying, 2014). However, due to the high signal density, modulation classification (MC) is becoming an increasingly complex process, especially in communication systems with unknown parameters such as carrier frequency and sample duration. Furthermore, it cannot be denied that the complexity of recognition increases under various noise exposures, and the classification task at a low signal-to-noise ratio (SNR) is now widely studied in (Uys et al., 2017; Li. et al., 2016; Wang et al., 2018). Various algorithms have been proposed to solve this problem.

Classification algorithms are commonly bifurcated into two predominant categories: firstly, the decision theory approach, which is predicated upon the likelihood function (LB) as evidenced in source (Zheng & Lv, 2018), and secondly, the statistical pattern recognition methodology, which hinges on feature extraction (FB), as delineated in source (Huang et al., 2019). The latter, FB, has garnered widespread acceptance in the realm of classification due to its advantageous attributes, namely consistent performance stability and reduced computational complexity. This methodological approach generally encompasses two principal phases: the initial phase of feature selection and the subsequent phase of classifier development. Within the realm of feature extraction, this subsystem is tasked with isolating features that are representative of signal characteristics, achieved through the analysis of data within either the time domain or the transformation domain.

Recent advancements have seen the evolution of both feature types and extraction methodologies, giving rise to novel features being proposed and employed specifically for modulation recognition. Notable among these advancements, as indicated in references (Yan & Feng, 2017; Yan & Liu, 2018), is the successful classification of modulation signals such as MSK and MPSK through

the utilization of an image analysis approach, which involves the measurement of Hamming's distance. Further, reference (Zhao & Guo, 2011)] introduces a novel feature predicated upon fourth- and sixth-order cumulants, coupled with the development of a neural network classifier designed for the identification of a spectrum of nine signal types, encompassing MSK and MQAM signals.

An additional recognition algorithm, based on spectral analysis as detailed in source (Nemala & Patil, 2013), accentuates the characteristics inherent in both the power spectrum (Guo & Li, 2010) and the cyclic spectrum (Boutte & Santhanam, 2009) of signals within the frequency domain. This approach has the distinct advantage of mitigating noise effects in the transmission channel. However, it necessitates a considerable amount of prior signal knowledge and entails a relatively high level of computational complexity. Conversely, the constellation map methodology, as illustrated in source (Liu & Lin, 2009), offers a more straightforward approach. It effectively displays the structural characteristics of signals, boasting advantages such as simplicity, intuitiveness, and a lower dependency on the signal-to-noise ratio (SNR). Various types of modulation can be used in the data transmission environment to ensure the most efficient and correct delivery of communication signals. Data delivery is carried out using a modulated signal which in turn is a complex signal with variable parameters depending on the transmitted information. A well-known method for determining the complex characteristics of signals is information entropy (Jeon & Chehri, 2020; Zhanabaev & Kozhagulov, 2018). The advantage of the entropy feature extraction method is that it provides a high level of noise immunity and stability. According to the simulation results in (Li & Guo, 2015), the algorithm based on entropy characteristics demonstrates good anti-noise characteristics and can give a detailed description of the characteristics of radar signals in a complex environment with a low signal-to-noise ratio (SNR). In reference (Zhang & Li, 2018), the authors concluded that the algorithm for feature extraction based on the entropy cloud can reach 100 % recognition rate even at SNR of -11 dB. A number of experiments related to various entropy methods have also shown that complex signals such as BPSK, QPSK, as well as QAM signals are more complex in the detection process. The article (Liu & Guan, 2017) indicates that new functions are rarely proposed that can complete the classification of MPSK and MQAM signals. In this regard, our research efforts are focused on the identification of modulation types using a new algorithm of calculating the probabilistic space for various feature extraction methods.

This paper is organized as follows: Section 2 summarizes extraction methods and algorithms. Section 3 describes experimental data, results, which are analysed in detail. Section 4 provides conclusions and possible directions for future research.

Method

Theory of Entropy

Currently, there are many different approaches to signal identification, but

undoubtedly, all approaches consist of two components: feature extraction and a classifier. No classifier system can work without certain input data, especially with incorrect functions.

In the well-known theory of information, “entropy” is a measure of the uncertainty of various events. Usually, as entropy increases, the signals become less stable. It can be used to determine the internal characteristics of signals, for example, to describe the distribution of uncertainty and calculate various statistics to determine the degree of signal complexity. Thus, the entropy feature extraction method is well suited for extracting features of the classification of modulated signals.

In this paper, four different entropies are selected to perform feature extraction algorithms.

The entropy analysis algorithm selects functions based on the uncertainty of the information; it does not require knowledge of the signal parameters. It has a relatively small amount of computation, so it is a fairly simple algorithm for extracting features.

Typically, the structure for classification includes three parts, feature extraction, feature selection, and classifier. We will consider feature extraction including entropy functions.

The principles and methods of information theory have become an integral part of probability theory and statistics and have found application in various fields. The concept of entropy has a special meaning in the field of information theory and was introduced by Shannon. Shannon’s entropy is a measure of the uncertainty of some system. It should be emphasized that Shannon perceived information as signals that are necessary, useful for the recipient. Unhelpful signals are noise, interference from Shannon’s point of view. If the signal at the output of the communication channel is an exact copy of the signal at the input, then this means the absence of entropy from the standpoint of the information theory. No noise means maximum information. Shannon’s entropy looks like as follows (Liu & Guan, 2017):

$$H(\mathbf{p}) = H(p_1, p_2, \dots, p_n) = - \sum_{i=1}^n p_i \log p_i \quad (1)$$

where $\mathbf{p} = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ shows the existing probability of each event in the collection, provided that

$$0 \leq p_i \leq 1, \quad \sum_{i=1}^n p_i = 1 \quad (2)$$

According to the definition of the entropy function, $H(\mathbf{p})$ has the follow-

ing properties:

1. Symmetry.

The value $H(\mathbf{p})$ of remains unchanged with an arbitrary change in the order of the components $\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \dots, \mathbf{p}_n$ of the probability vector $\mathbf{p} = (\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \dots, \mathbf{p}_n)$, that is, the entropy result refers only to the general statistical properties of the X set.

2. Nonnegativity

The value of the entropy function is always a non-negative quantity, namely:

$$H(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \dots, \mathbf{p}_n) \geq 0 \tag{3}$$

3. Reliability property

The entropy value must be zero when a certain event occurs in the set.

4. Extreme property

In the X set, when each event has the same probability, it obtains the maximum entropy. When every event in X set has the same probability $\mathbf{p}_1 = \mathbf{p}_2 = \dots = \mathbf{p}_n = \frac{1}{n}$, the entropy reaches its maximum value. As follows:

$$H(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \dots, \mathbf{p}_n) \leq H\left(\frac{1}{n}, \frac{1}{n}, \dots, \frac{1}{n}\right) = \log n \tag{4}$$

Using the definition of Shannon’s entropy, exponential entropy was introduced to construct a two-dimensional feature entropy to improve signal recognition (Li et al. 2016). Assuming that the probability of an event is \mathbf{p}_i , the amount of information can be written as:

$$\Delta I_{exp}(\mathbf{p}_i) = e^{1-\mathbf{p}_i} \tag{5}$$

Exponential entropy can be defined as follows:

$$H(\mathbf{p}) = \sum_{i=1}^n \mathbf{p}_i e^{1-\mathbf{p}_i} \tag{6}$$

From formulas (5) and (6) it can be seen that in comparison with generally accepted information $\Delta I(\mathbf{p}_i) = \log \log \left(\frac{1}{\mathbf{p}_i}\right)$ the new concept $\Delta I_{exp}(\mathbf{p}_i)$ has the same meaning. In the time domain of definition $[0,1]$, the $\Delta I_{exp}(\mathbf{p}_i)$ is a monotonically decreasing function and its range is $[1, e]$. When the probabilities \mathbf{p}_i of all events are equal, the H_{exp} will receive the maximum value.

To investigate further applications of entropy and to calculate the uncertainty of the generalized distribution, Alfréd Rényi proposed a new entropy, which looks like as follows:

$$R^\alpha(\mathbf{p}) = \frac{1}{1-\alpha} \log \frac{\sum_i \mathbf{p}_i^\alpha}{\sum_i \mathbf{p}_i} \tag{6}$$

where the parameter q determines the order of Rényi's entropy, $q \in (0, 1) \cup (1, \infty)$ or $q \in \{0, 1, \infty\}$. With $q = 1$, the Rényi's entropy limit can degenerate into Shannon's entropy, so Rényi's entropy is a generalization of Shannon's entropy. The entropy of Tsallis is a generalization of the standard Boltzmann and Gibbs' entropy [23]. It can be defined as:

$$S_q = k \frac{1 - \sum_{i=1}^N p_i^q}{q - 1} \quad (7)$$

In formula (7), k - some positive constant that defines the unit of measurement of entropy, and in physical formulas it is a beam of dimensions, such as the Boltzmann constant. From the point of view of the entropy optimization problem, this constant is insignificant, therefore, for simplicity, $k = 1$ is often taken. N - the total number of elements of the set of probabilities, and p_i - the corresponding probabilities. When the order is 1, the entropy of Tsallis is converted to the Shannon's entropy.

Proposed algorithm

In the process of extracting features, the target signal can be affected by noise, and the amplitude of the signal has a certain property of fuzziness and randomness. The extracted characteristic of the signal is not stable, but fluctuates within a certain range. It is difficult to accurately and completely describe the characteristics of the target signal. To solve this problem, an algorithm for determining the probability was proposed, which divides into regions in the coordinate IQ (I - in-phase signals, Q - quadrature signal). The steps of the proposed algorithm are as follows.

The probability is determined by the following formula (Figure 2):

$$p_j = \frac{\sum_{i=1}^N Z(\varphi_i)}{N}$$

where $\varphi_i = \arctan\left(\frac{Q_i}{I_i}\right)$, $Z(\varphi) = \begin{cases} 1; \varphi \in \Phi_j \\ 0; \varphi \notin \Phi_j \end{cases}$, Φ_j is the collection of sets of each sector

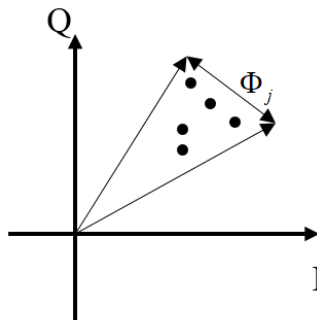


Figure 2. Probability method

In the IQ coordinate, we divide the region $Z(\varphi)$ into equal sectors Φ_j , where the angle is determined by $\varphi_i = \arctan\left(\frac{Q_i}{I_i}\right)$. After that, we calculate the sum of all points as follows:

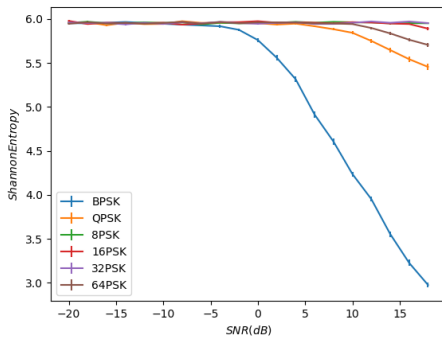
$$Z(\varphi) = \begin{cases} 1; \varphi \in \Phi_j \\ 0; \varphi \notin \Phi_j \end{cases}$$

If the points fall into the sector Φ_j , we will denote it as 1. After determining the total number of points in the sector j , dividing by the total number of points N , we calculate the probability in this sector.

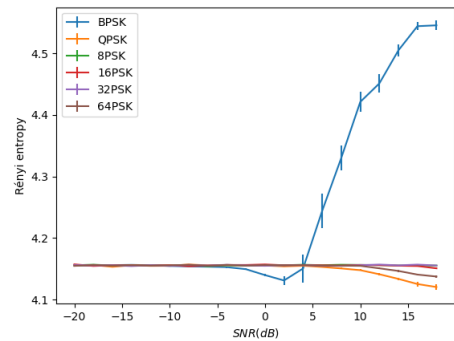
Results and Discussion

To increase the variety of signal datasets, a new dataset called Hisar-Mod2019.1 was used. The dataset includes 26 modulation types from 5 different modulation families, which are analogue, FSK, pulse amplitude modulation (PAM), PSK, and quadrature amplitude modulation (QAM).

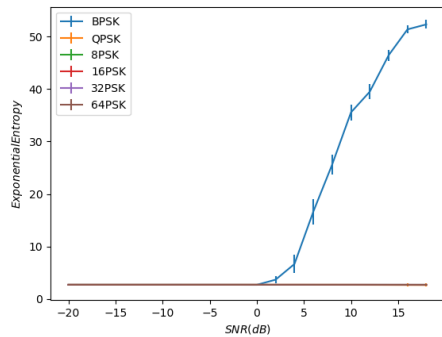
To extract entropy features, experiments are carried out for each signal at different SNRs and the average value of its information entropy is obtained. The change curve of different entropy with SNR is shown in Figure 3.



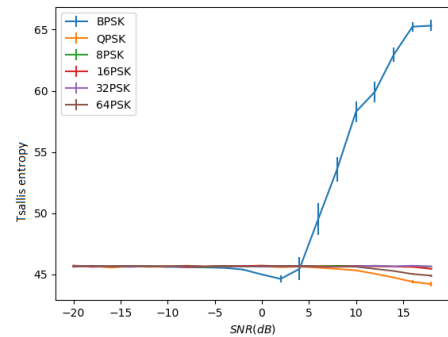
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 3. The change curve of different entropy with SNR. (a) Shannon's entropy; (b) Rényi's entropy; (c) Exponential entropy; (d) Tsallis entropy

Figure 3 shows that most of the entropy decreases with increasing SNR and begins to stabilize. This is due to the fact that as the SNR increases, the degree of signal interference decreases, and when the signal SNR reaches a certain level, the change in the entropy value is mainly caused by the randomness of the signal symbols. As shown in Figure 3a, Shannon's entropy distinguishes well BPSK, QPSK, 16PSK, 64PSK signals and easily classifies these signals, the distance between other signals is relatively small, and the entropy value does not change significantly depending on the SNR signal. Exponential entropy distinguishes BPSK, 64PSK signals. Compared to Shannon's entropy, exponential entropy has poor classification ability for various modulation signals.

Figures 3b,c show that Rényi's and Tsallis entropy distinguish BPSK, QPSK and 64PSK signals. However, the overlapping of 8PSK and 32PSK signals is more serious and they are difficult to separate by the Rényi's, exponential and Tsallis entropy. Compared to the above types of entropy, Shannon's entropy can more effectively distinguish 8PSK and 32PSK signals.

Conclusion

This article mainly explores the method of identification of modulated signals based on entropy. First of all, according to the HisarMod2019.1 database, a kind of signal model was derived. The distribution of each type of signal for each entropy feature is obtained, and then the possibility of classification is carried out by observing the distribution in the space of entropy features. 4 types of entropy were viewed: Shannon's entropy, Rényi's entropy, Tsallis entropy and exponential entropy. The application of Shannon's entropy showed the best result compared to other types of entropy. Due to the variety of available entropy and the complexity of determining the types of modulation, an algorithm for selecting features was proposed for classification based on the results of entropy changes. We checked the effectiveness of the algorithm by comparing it with other results.

In particular, we can classify 6 commonly used modulation types: BPSK, QPSK, 8PSK, 16PSK, 32PSK, and 64PSK. Modelling of various signal-to-noise ratios confirms the effectiveness of the algorithm.

REFERENCES

- Boutte D., Santhanam B. (2009) "A hybrid ICA-SVM approach to continuous phase modulation recognition", *IEEE Signal Processing Letters*. — 16(5): 402–405. — DOI: 10.1109/LSP.2009.2017267.
- Guo Z., Li S. (2010). "One-dimensional frequency-domain features for aircraft recognition from radar range profiles", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*. — 46(4): 1880–1892. — DOI: 10.1109/TAES.2010.5595582.
- Huang S. et al. (2019). "Automatic modulation classification using contrastive fully convolutional network", *IEEE Wireless Communications Letters*. — 8(4): 1044–1047. — DOI: 10.1109/LWC.2019.2917761.
- Li J., Ying Y. (2014). "Radar signal recognition algorithm based on entropy theory", *The 2014 2nd International Conference on Systems and Informatics (ICSAI 2014)*. — Pp. 718–723. —DOI: 10.1109/ICSAI.2014.7009379.

Li Y. et al. (2016). "Communication Modulation Signal Recognition Algorithm Based on Entropy Cloud Characteristics", *International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*. — 9(5): 373–380.

Liu Y., Lin Z., Zhongpei Z. (2009). "High order QAM signals recognition based on layered modulation", *Proceedings of the International Conference on Communications, Circuits and Systems (ICCCAS '09)*. — Pp. 73–76.

Li J., Guo J. (2015) "A new feature extraction algorithm based on entropy cloud characteristics of communication signals", *Mathematical problems in engineering*, 2015. — DOI: 10.1155/2015/324979.

Liu T., Guan Y., Lin Y. (2017). "Research on modulation recognition with ensemble learning". — *Journal of Wireless Communications and Networking*. — 179. <https://doi.org/10.1186/s13638-017-0949-5>.

Nemala S. K., Patil K., Elhilali M. (2013). "A multistream feature framework based on bandpass modulation filtering for robust speech recognition", *IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing*. — 21(2): 416–426. — DOI: 10.1109/TASL.2012.2222433.

Jeon G., Chehri A. (2020). "Entropy-Based Algorithms for Signal Processing", *Entropy*. — 22. — 621. <https://doi.org/10.3390/e22060621>.

Uys L. Y. et al. (2017). "The performance of feature-based classification of digital modulations under varying SNR and fading channel conditions", *2017 IEEE AFRICON, IEEE*. — Pp. 198–203.

Yan X., Feng G., Wu H.-C., Xiang W., Wang Q. (2017). "Innovative robust modulation classification using graph-based cyclic-spectrum analysis", *IEEE Communications Letters*. — 21(1): 16–19. — DOI: 10.1109/LCOMM.2016.2616344.

Yan X., Liu G., Wu H.-C., Feng G. (2018). "New automatic modulation classifier using cyclic-spectrum graphs with optimal training features", *IEEE Communications Letters*. — 22(6): 1204–1207. — DOI: 10.1109/LCOMM.2018.2833518.

Wang H. et al. (2018). "A new method of cognitive signal recognition based on hybrid information entropy and DS evidence theory", *Mobile Networks and Applications*. — 23(4): 677–685. — DOI: 10.1007/s11036-017-0932-1.

Zhao X., Guo C., Li J. (2016). "Mixed recognition algorithm for signal modulation schemes by high-order cumulants and cyclic spectrum", *J. Electron. Inform. Technol.* — 38(3): 674–680.

Zhou S. et al. (2019). "A robust modulation classification method using convolutional neural networks", *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*. — 2019. — (1): 1–15. — DOI: 10.1186/s13634-019-0632-2.

Zhao Y., Yang X., Lin Y. (2017). "A new recognition method for M-QAM signals in software-defined radio", *Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Software Quality, Reliability and Security Companion (QRS-C)*. — IEEE. — Pp. 271–275.

Zhanabaev Z.Zh., Kozhagulov Y.T., Khokhlov S.A., Agishev A.T., Zhexebay D.M. (2018). "Informational and entropic criteria of self-similarity of fractals and chaotic signals", *International Journal of Mathematics and Physics*. — 90(1): 90–96.

Zhang Z., Li Y., Jin S., Zhang Z., Wang H., Qi L., Zhou R. (2018). "Modulation Signal Recognition Based on Information Entropy and Ensemble Learning", *Entropy*. — 20. — 198. <https://doi.org/10.3390/e20030198>.

Zheng J., Lv Y. (2018). "Likelihood-based automatic modulation classification in OFDM with index modulation", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. — 67(9): 8192–8204. — DOI: 10.1109/TVT.2018.2856642.

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

М.Б. Альбатырова, А.Ж. Алибек, А.С. Жетписбаева РУТНОН ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ ФИЗИКАЛЫҚ ҚҰБЫЛЫСТАРДЫ МОДЕЛЬДЕУ.....	7
Н. Бейсен, Э. Кеведо, С. Тоқтарбай, М. Жакипова, М. Алимкулова Q-МЕТРИКА ҚИСЫҚТЫҒЫНЫҢ МЕНШІКТІ МӘНДЕРІ.....	17
Г. Бекетова, Н. Жантурина*, З. Аймаганбетова, А. Бекешев ЦЕЗИЙГЕ НЕГІЗДЕЛГЕН ҚОСАРЛАНҒАН ГАЛОИДТЫ ПЕРОВСКИТТЕРДІҢ ОПТИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ.....	31
С.Б. Дубовиченко, Н.А. Буркова, А.С. Ткаченко, Д.М. Зазулин ЖАЛПЫ БӨЛІМДЕРІ ЖӘНЕ ПРОЦЕСС ҚАРҚЫМЫ $n^{12}C$	43
А. Касымов, А. Адылканова, А. Бектемисов, К. Астемесова, Г. Турлыбекова ГИБРИДТІ КҮН КОЛЛЕКТОРЫНДА ҚОЛДАНУҒА АРНАЛҒАН БИДИСТИЛЬДЕНГЕН СУ НЕГІЗІНДЕГІ TiO_2/Al_2O_3 ГИБРИДТІ НАНОСҰЙЫҚТЫҢ ТҮТҚЫРЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ.....	52
А.Е. Кемелбекова, Д.М. Мухамедшина, К.А. Мить, Р.С. Мендыханов, К.К. Елемесов СИРЕК ЖЕР МЕТАЛДАРЫН НЕГІЗІНДЕГІ ФОТОСЕЗІМТАЛ ҚҰРЫЛЫМДАРДЫ ЖАСАУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ.....	63
Е.Т. Кожажулов, Д.М. Жексебай, С.А. Сарманбетов, Н.М. Үсіпов, К.Т. Көпбай АҚПАРАТТЫҚ ЭНТРОПИЯНЫҢ НЕГІЗІНДЕ САНДЫҚ МОДУЛЯЦИЯНЫ АНЫҚТАУ.....	73
Е.М. Мырзакулов, А.С. Бұланбаева ҚАРА ҚҰРДЫМ ШЕШІМДЕРІ ЖӘНЕ ОНЫҢ ТЕРМОДИНАМИКАСЫ.....	84
Д.М. Насирова, В.О. Курмангалиева, А.А. Ғазизова ШАҒЫН ЖҰЛДЫЗДАРДАҒЫ ЭНЕРГИЯ КӨЗДЕРІ.....	95
А. Серебрянский, А. Халикова МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНЫП ШОЛУ ЖӘНЕ МОНИТОРИНГТІ ФОТОМЕТРЛІК БАҚЫЛАУЛАРЫНАН АЙНЫМАЛЫ ЖҰЛДЫЗДАРДЫ ІЗДЕУ.....	103

ХИМИЯ

Б.С. Абжалов, А.Б. Башов, А.К. Мамырбекова, С.А. Жұмаділлаева, М.О. Алтынбекова ҚЫШҚЫЛ ОРТАДА ВИСМУТ ЭЛЕКТРОДЫНЫҢ ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТІНЕ АЙНЫМАЛЫ ТОКТЫҢ ЖИЛПІ МЕН ТЫҒЫЗДЫҒЫНЫҢ ӘСЕРІ.....	116
Е.Г. Гилязов, Д.К. Кулбатыров, М.Д. Уразгалиева, К.Р. Мақсот ТІКЕЛЕЙ АЙДАУДАН АЛЫНҒАН БЕНЗИННІҢ ОКТАН САНЫН АРТТЫРАТЫН ОКСИГЕНАТТАРДЫҢ ТИІМДІЛІГІ.....	127

Д.Ж. Калиманова, А.К. Мендигалиева, А.Б. Медетова, О.С. Сембай ХИМИЯ САБАҚТАРЫНДА ЭЛЕКТРОНДЫҚ БІЛІМ РЕСУРСТАРЫН, ОЙЫН ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ПАЙДАЛАНЫП ОҚУШЫЛАРДЫҢ НӘТИЖЕЛЕРІН ЖИЫНТЫҚ БАҒАЛАУ.....	140
Л.М. Калимолдина, Г.С. Султангазиева, С.О. Абилкасова АЛМАТЫ ҚАЛАСЫНЫҢ СУ РЕСУРСТАРЫНЫҢ ХИМИЯЛЫҚ ЗАТТАРМЕН ЛАСТАНУ ДЕҢГЕЙІН ЗЕРТТЕУ.....	152
Б.К. Кенжалиев, А.К. Койжанова, М.Б. Ерденова, Д.Р. Магомедов, К.М. Смаилов ҮЙІНДІ КЕНДЕРДЕН МЫС АЛУДЫ БИОХИМИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ХИМИЯЛЫҚ ТОТЫҚТЫРУ ӘДІСТЕРІМЕН ОҢТАЙЛАНДЫРУ.....	167
Г.М. Мадыбекова, Т.Т. Туребаева, Б.Ж. Муталиева, Д.М. Лесбекова, А.Б. Исаева БЕЛСЕНДІ АГЕНТТЕРДІ ЖЕТКІЗУ ҮШІН МИКРОКАПСУЛЯЦИЯЛЫҚ ӘДІСТЕРДІ ҚОЛДАНУДЫҢ АРТЫҚШЫЛЫҚТАРЫ МЕН ПОЦЕНЦИАЛЫ: ШОЛУ.....	183
Б.К. Масалимова, Б. Джанекова, С.М. Наурызкулова NI-RU ҚҰРАМДЫ КҮРДЕЛІ ОКСИДТЕРГЕ НЕГІЗДЕЛГЕН КОМПОЗИТТЕР ҚҰРАМЫН ЭНЕРГОДИСПЕРСТІ СПЕКТРОСКОПИЯ ӘДІСІМЕН САНДЫҚ ХИМИЯЛЫҚ ТАЛДАУ.....	198
С. Тұрғанбай, А.И. Ильин, Д.А. Аскарова, А.Б. Джумагазиева, З.С. Ашимханова ӨРТҮРЛІ СҮЙЫЛТУЛАРДАҒЫ АФС ЕРІТІНДІЛЕРІНДЕГІ ФИЗИКА- ХИМИЯЛЫҚ ТЕПЕ-ТЕНДІКТІ ЗЕРТТЕУ.....	209
А.М. Усербаева, Р.Г. Рыскалиева ХИМИЯ ПӘНІНЕН ОҚУ-ӘДІСТЕМЕЛІК КЕШЕН ҚҰРАСТЫРУДЫҢ ҒЫЛЫМИ ПЕДАГОГИКАЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ.....	228
С.Д. Фазылов, О.А. Нұркенов, Ж.С. Нұрмағанбетов, Р.Е. Бәкірова, М.Ж. Жұрынов ЦИКЛОДЕКСТРИНДЕР ХИМИЯЛЫҚ ҚОСЫЛЫСТАРДЫҢ СУПРАМОЛЕКУЛАЛЫҚ КОНТЕЙНЕРЛЕРІ РЕТІНДЕ.....	241

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

М.Б. Альбатырова, А.Ж. Алибек, А.С. Жетписбаева МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ PYTON.....	7
Н. Бейсен, Э. Кеведо, С. Токтарбай, М. Жакипова, М. Алимкулова СОБСТВЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ КРИВИЗНЫ Q-МЕТРИКИ.....	17
Г. Бекетова, Н. Жантурина, З. Аймаганбетова, А. Бекешев ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДВОЙНЫХ ГАЛОИДНЫХ ПЕРОВСКИТОВ НА ОСНОВЕ ЦЕЗИЯ.....	31
С.Б. Дубовиченко, Н.А. Буркова, А.С. Ткаченко, Д.М. Зазулин ПОЛНЫЕ СЕЧЕНИЯ И СКОРОСТЬ РАДИАЦИОННОГО $n^{12}\text{C}$ ЗАХВАТА.....	43
А. Касымов, А. Адылканова, А. Бектемисов, К. Астемесова, Г. Турлыбекова ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОСТНЫХ СВОЙСТВ ГИБРИДНОЙ НАНОЖИДКОСТИ $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ НА ОСНОВЕ БИДИСТИЛЛИРОВАННОЙ ВОДЫ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ГИБРИДНОМ СОЛНЕЧНОМ КОЛЛЕКТОРЕ.....	52
А.Е. Кемелбекова, Д.М. Мухамедшина, К.А. Мить, Р.С. Мендыханов, К.К. Елемесов СОЗДАТЬ И ИССЛЕДОВАТЬ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ.....	63
Е.Т. Кожугулов, Д.М. Жексебай, С.А. Сарманбетов, Н.М. Усипов, К.Т. Копбай ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЦИФРОВОЙ МОДУЛЯЦИИ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЭНТРОПИИ.....	73
Е.М. Мырзакулов, А.С. Буланбаева РЕШЕНИЯ РЕГУЛЯРНОЙ ЧЕРНОЙ ДЫРЫ И ИХ ТЕРМОДИНАМИКА.....	84
Д.М. Насирова, В.О. Курмангалиева, А.А. Газизова ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В КОМПАКТНЫХ ЗВЕЗДАХ.....	95
А. Серебрянский, А. Халикова ПОИСК ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЕЗД В МОНИТОРИНГОВЫХ И ОБЗОРНЫХ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ.....	103

ХИМИЯ

Б.С. Абжалов, А.Б. Башов, А.К. Мамырбекова, С.А. Джумадуллаева, М.О. Алтынбекова ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ И ПЛОТНОСТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ВИСМУТОВОГО ЭЛЕКТРОДА В КИСЛОЙ СРЕДЕ.....	116
Е.Г. Гиладжов, Д.К. Кулбатыров, М.Д. Уразгалиева, К.Р. Мақсот ЭФФЕКТИВНОСТИ ОКСИГЕНАТОВ НА ПОВЫШЕНИЕ ОКТАНОВОГО ЧИСЛА ПРЯМОГОННОГО БЕНЗИНА.....	127

Д.Ж. Калиманова, А.К. Мендигалиева, А.Б. Медетова, О.С. Сембай СУММАТИВНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ УЧАЩИХСЯ НА УРОКАХ ХИМИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ, ИГРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	140
Л.М. Калимолдина, Г.С. Султангазиева, С.О.Абилкасова ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ХИМИЧЕСКИМИ ВЕЩЕСТВАМИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ГОРОДА АЛМАТЫ.....	152
Б.К. Кенжалиев, А.К. Койжанова, М.Б. Ерденова, Д.Р. Магомедов, К.М. Смаилов ОПТИМИЗАЦИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕДИ ИЗ ОТВАЛЬНЫХ РУД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОХИМИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОКИСЛЕНИЯ.....	167
Г.М. Мадыбекова, Т.Т. Туребаева, Б.Ж. Муталиева, Д.М. Лесбекова, А.Б. Исаева ПРЕИМУЩЕСТВА И ПОТЕНЦИАЛ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ МИКРОКАПСУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ДОСТАВКИ АКТИВНЫХ АГЕНТОВ: ОБЗ ОР.....	183
Б.К. Масалимова, Б. Джанекова, С.М. Наурзкулова КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОСТАВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ NI-RU – СОДЕРЖАЩИХ СЛОЖНЫХ ОКСИДОВ МЕТОДОМ ЭНЕРГОДИСПЕРСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ.....	198
С. Тұрғанбай, А.И. Ильин, Д.А. Аскарова, А.Б. Джумагазиева, З.С. Ашимханова ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ РАВНОВЕСИЙ В РАСТВОРАХ АФС ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РАЗВЕДЕНИЯХ.....	209
А.М. Усербаева, Р.Г. Рыскалиева НАУЧНО – ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОСТАВЛЕНИЯ УЧЕБНО- МЕТОДИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПО ХИМИИ.....	228
С.Д. Фазылов, О.А. Нуркенов, Ж.С. Нурмаганбетов, Р.Е. Бакирова, М.Ж. Журинов ЦИКЛОДЕКСТРИНЫ КАК СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫЕ КОНТЕЙНЕРЫ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ.....	241

CONTENTS

PHYSICAL

M.B. Albatyrova, A.Zh. Alibek, A.S. Zhetpisbayeva MODELING PHYSICAL PHENOMENA USING PYTHON.....	7
N. Beissen, H. Quevedo, S. Toktarbay, M. Zhakipova, M. Alimkulova CURVATURE EIGENVALUES OF THE Q-METRIC.....	17
G. Beketova, N. Zhanturina, Z. Aimaganbetova, A. Bekeshev OPTICAL PROPERTIES OF DOUBLE HALIDE PEROVSKITES BASED ON CESIUM.....	31
S.B. Dubovichenko, N.A. Burkova, A.S. Tkachenko, D.M. Zazulin TOTAL CROSS-SECTIONS AND RATE OF $n^{12}\text{C}$ RADIATIVE CAPTURE.....	43
A. Kassymov, A. Adylkanova, A. Bektemissov, K. Astemessova, G. Turlybekova INVESTIGATION OF VISCOSITY PROPERTIES OF $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ HYBRID NANOFLUID BASED ON BIDISTILLED WATER FOR USE IN A HYBRID SOLAR COLLECTOR.....	52
A.E. Kemelbekova, D.M. Mukhamedshina, K.A. Mit', R.S. Mendykanov, A.K. Shongalova CREATING AND RESEARCH ON PHOTSENSITIVE STRUCTURES USING RARE EARTH METALS.....	63
Y.T. Kozhagulov, D.M. Zhexebay, S.A. Sarmanbetov, N.M. Ussipov, K.T. Kopbay IDENTIFICATION OF DIGITAL MODULATION BASED ON INFORMATIONAL ENTROPY.....	73
Y. Myrzakulov, A. Bulanbayeva A REGULAR BLACK HOLE SOLUTIONS AND THEIR THERMODYNAMICS.....	84
D.M. Nassirova, V.O. Kurmangaliyeva, A.A. Gazizova SOURCES OF ENERGY IN COMPACT STARS.....	95
A. Serebryanskiy, A. Khalikova SEARCH FOR VARIABLE STARS IN MONITORING AND SURVEY PHOTO- METRIC OBSERVATIONS USING MACHINE LEARNING METHODS.....	103

CHEMISTRY

B.S. Abzhalov, A.B. Bayeshov, A.K. Mamyrbekova, S.A. Dzhumadullayeva, M.O. Altynbekova INFLUENCE OF AC FREQUENCY AND DENSITY ON THE ELECTROCHEMI- CAL BEHAVIOR OF BISMUTH ELECTRODE IN AN ACID MEDIUM.....	116
Y.G. Gilazhov, D.K. Kulbatyrov, M.D. Urazgalieva, K.R. Maksot EFFICIENCY OF OXYGENATES ON INCREASE OF OCTANE NUMBER OF STRAIGHT-RUN GASOLINE.....	127
D. Zh. Kalimanova, A. K. Mendigaliyeva, A.B. Medetova, O.S. Sembay SUMMATIVE ASSESSMENT OF STUDENTS' RESULTS IN CHEMISTRY LESSONS USING ELECTRONIC EDUCATIONAL RESOURCES, GAME	

TECHNOLOGIES.....	140
L.M. Kalimoldina, G.S. Sultangazieva, S.O. Abilkasova STUDY OF CHEMICAL POLLUTION LEVEL IN WATER RESOURCES OF ALMATY CITY.....	152
B.K. Kenzhaliev, A.K. Koizhanova, M.B. Yerdenova, D.R. Magomedov, K.M. Smailov OPTIMIZATION OF COPPER EXTRACTION FROM WASTE ORES USING BIOCHEMICAL AND CHEMICAL OXIDATION METHODS.....	167
G.M. Madybekova, T.T. Turebayeva, B.Zh. Mutaliev, D.M. Lesbekova, A.B. Issayeva ADVANTAGES AND POTENTIAL OF USING MICROCAPSULATION METHODS FOR DELIVERY OF ACTIVE AGENTS: A REVIEW.....	183
B.K. Massalimova, B. Janekova, S.M. Naurzkulova QUANTITATIVE CHEMICAL ANALYSIS OF THE COMPOSITION OF COMPOSITES BASED ON NI-RU-CONTAINING COMPLEX OXIDES BY ENERGY-DISPERSED SPECTROSCOPY.....	198
S. Turganbay, A.I. Ilin, D. Askarova, A.B. Jumagaziyeva, Z. Ashimkhanova STUDY OF PHYSICOCHEMICAL EQUILIBRIA IN API SOLUTIONS AT DIFFERENT DILUTIONS.....	209
A.M. Userbayeva, R.G. Ryskaliyeva SCIENTIFIC AND PEDAGOGICAL FOUNDATIONS OF THE PREPARATION OF AN EDUCATIONAL AND METHODOLOGICAL COMPLEX IN CHEMISTRY.....	228
S.D. Fazylov, O.A. Nurkenov, Zh.S. Nurmaganbetov, R.E. Bakirova, M.J. Jurinov CYCLODEXTRINS AS SUPRAMOLECULAR CONTAINERS OF CHEMICAL COMPOUNDS.....	241

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

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

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

Подписано в печать 15.06.2024.

Формат 60x88^{1/8}. Бумага офсетная. Печать - ризограф.

19,0 п.л. Тираж 300. Заказ 2.