

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

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ

әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Қазақстан Республикасының Ғылым
Академиясының Алматыдағы
Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық
университетінің

N E W S

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
al-Farabi Kazakh National University

SERIES

PHYSICO-MATHEMATICAL

1 (341)

JANUARY – MARCH 2022

PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

PUBLISHED 4 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK

NAS RK is pleased to announce that News of NAS RK. Series physico-mathematical journal has been accepted for indexing in the Emerging Sources Citation Index, a new edition of Web of Science. Content in this index is under consideration by Clarivate Analytics to be accepted in the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index, and the Arts & Humanities Citation Index. The quality and depth of content Web of Science offers to researchers, authors, publishers, and institutions sets it apart from other research databases. The inclusion of News of NAS RK. Series of chemistry and technologies in the Emerging Sources Citation Index demonstrates our dedication to providing the most relevant and influential content of chemical sciences to our community.

Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясы «ҚР ҰҒА Хабарлары. Физика және информатика сериясы» ғылыми журналының Web of Science-тің жаңаланған нұсқасы Emerging Sources Citation Index-те индекстелуге қабылданғанын хабарлайды. Бұл индекстелу барысында Clarivate Analytics компаниясы журналды одан әрі the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index және the Arts & Humanities Citation Index-ке қабылдау мәселесін қарастыруда. Web of Science зерттеушілер, авторлар, баспашылар мен мекемелерге контент тереңдігі мен сапасын ұсынады. ҚР ҰҒА Хабарлары. Химия және технология сериясы Emerging Sources Citation Index-ке енуі біздің қоғамдастық үшін ең өзекті және беделді химиялық ғылымдар бойынша контентке адалдығымызды білдіреді.

НАН РК сообщает, что научный журнал «Известия НАН РК. Серия физика и информационные технологии» был принят для индексирования в Emerging Sources Citation Index, обновленной версии Web of Science. Содержание в этом индексировании находится в стадии рассмотрения компанией Clarivate Analytics для дальнейшего принятия журнала в the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index и the Arts & Humanities Citation Index. Web of Science предлагает качество и глубину контента для исследователей, авторов, издателей и учреждений. Включение Известия НАН РК в Emerging Sources Citation Index демонстрирует нашу приверженность к наиболее актуальному и влиятельному контенту по химическим наукам для нашего сообщества.

Бас редактор:

МҰТАНОВ Ғалымқайыр Мұтанұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР БҒМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының м.а. (Алматы, Қазақстан) Н=5

Редакция алқасы:

ҚАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрәділұлы (бас редактордың орынбасары), физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР БҒМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының кеңесшісі, зертхана меңгерушісі (Алматы, Қазақстан) Н=7

БАЙГУНЧЕКОВ Жұмаділ Жаңабайұлы (бас редактордың орынбасары), техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Кибернетика және ақпараттық технологиялар институты, Сатпаев университетінің Қолданбалы механика және инженерлік графика кафедрасы, (Алматы, Қазақстан) Н=3

ВОЙЧИК Вальдемар, техника ғылымдарының докторы (физика), Люблин технологиялық университетінің профессоры (Люблин, Польша) Н=23

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

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

ЖҮСПОВ 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

МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович, техника ғылымдарының докторы, профессор, Беларусь ҰҒА академигі (Минск, Беларусь) Н=2

РАМАЗАНОВ Тілекқабыл Сәбитұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің ғылыми-инновациялық қызмет жөніндегі проректоры, (Алматы, Қазақстан) Н=26

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

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

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, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан) Н=12

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

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Физика-математикалық сериясы».

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Меншіктеуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (Алматы қ.). Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 14.02.2018 ж. берілген **№ 16906-Ж** мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: *физика және ақпараттық коммуникациялық технологиялар сериясы.*

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

Мерзімділігі: *жылына 4 рет.*

Тиражы: *300 дана.*

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

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

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2022

Типографияның мекен-жайы: «Аруна» ЖК, Алматы қ., Мұратбаев көш., 75.

Главный редактор:

МУТАНОВ Галимкаир Мутанович, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, и.о. генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» КН МОН РК (Алматы, Казахстан) Н=5

Редакционная коллегия:

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, советник генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» КН МОН РК, заведующий лабораторией (Алматы, Казахстан) Н=7

БАЙГУНЧЕКОВ Жумадил Жанабаевич, (заместитель главного редактора), доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Институт кибернетики и информационных технологий, кафедра прикладной механики и инженерной графики, университет Сатпаева (Алматы, Казахстан) Н=3

ВОЙЧИК Вальдемар, доктор технических наук (физ.-мат.), профессор Люблинского технологического университета (Люблин, Польша) Н=23

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

МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович, доктор технических наук, профессор, академик НАН Беларуси (Минск, Беларусь) Н=2

РАМАЗАНОВ Тлеккабул Сабитович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, проректор по научно-инновационной деятельности, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н=26

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

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

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, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н=12

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

«Известия НАН РК. Серия физика-математическая».

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (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 **№ 16906-Ж** выданное 14.02.2018 г.

Тематическая направленность: *серия физика и информационные коммуникационные технологии.*

В настоящее время: *вошел в список журналов, рекомендованных ККСОН МОН РК по направлению «информационные коммуникационные технологии».*

Периодичность: *4 раз в год.*

Тираж: *300 экземпляров.*

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

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

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2022

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

Editor in chief:

MUTANOV Galimkair Mutanovich, doctor of technical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, acting director of the Institute of Information and Computing Technologies of SC MES RK (Almaty, Kazakhstan) H=5

Editorial board:

KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich (Deputy Editor-in-Chief), doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Advisor to the General Director of the Institute of Information and Computing Technologies of SC MES RK, Head of the Laboratory (Almaty, Kazakhstan) H=7

BAYGUNCHEKOV Zhumadil Zhanabayevich, (Deputy Editor-in-Chief), doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Institute of Cybernetics and Information Technologies, Department of Applied Mechanics and Engineering Graphics, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan) H=3

WOICIK Waldemar, Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor, Lublin University of Technology (Lublin, Poland) H=23

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

MIKHALEVICH Alexander Alexandrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of NAS of Belarus (Minsk, Belarus) H=2

RAMAZANOV Tlekkabul Sabitovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Vice-Rector for Scientific and Innovative Activity, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan) H=26

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

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

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, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan) H=12

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

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

Series physico-mathematical.

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (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. 16906-Ж, issued 14.02.2018

Thematic scope: *series physics and information technology.*

Currently: *included in the list of journals recommended by the CCSES MES RK in the direction of «information and communication technologies».*

Periodicity: *4 times a year.*

Circulation: *300 copies.*

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

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

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2022

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

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 1, Number 341 (2022), 58–68

<https://doi.org/10.32014/2022.2518-1726.117>

УДК 004.89

МРНТИ 28.23.37

О.Ж. Мамырбаев¹, Д.О. Оралбекова^{1,2*}, К. Алимхан^{1,3}, М. Othman⁴, Б. Жумажанов¹

¹Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Алматы, Казахстан;

²Satbayev University, Алматы, Казахстан;

³Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан;

⁴Universiti Putra Malaysia, Куала-Лумпур, Малайзия.

E-mail: dinaoral@mail.ru

**ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНОЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ МОДЕЛИ
ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ КАЗАХСКОЙ РЕЧИ**

Аннотация. Распознавание речи играет значимую роль при взаимодействии человека с машиной и техникой. Целью распознавания речи является конвертирование человеческой речи в машиночитаемый формат. Технология speech to text применяется в широких кругах задач, как управление интерфейсом, голосовой поиск, синтез речи и т.д. Данные системы отличаются со своей дружелюбности к пользователю, что помогает управлять устройством без дополнительных механизмов. Современные системы автоматического распознавания речи на основе интегральных моделей показывают очень хорошие результаты с точки зрения точности распознавания языков, которые имеют большие корпуса на несколько тысяч часов речи для обучения системы. Такие модели требуют очень большой объем тренировочных данных, что является проблематичным для мало-ресурсных языков, как казахский язык. Однако, во многих исследованиях было показано что совместное использование СТС с другими интегральными моделями улучшает показатели систем даже с ограниченными обучающими данными. В связи с этим был собран речевой корпус казахского языка с объемом 250 часов речи. В нашей работе впервые была построена совместная модель СТС и кодер-декодер на основе механизма внимания для распознавания казахской речи. В этой модели был применен гибридный тип механизма внимания. Полученные результаты продемонстрировали, что предлагаемая интегральная модель при использовании внешних языковых моделей улучшила показатели системы и показала лучший результат на нашем наборе данных для казахского языка. В результате эксперимента система достигла 5.9% CER, что является конкурентноспособным результатом по распознаванию казахской речи.

Ключевые слова: автоматическое распознавание речи, интегральная модель, СТС, механизм внимания, малоресурсные языки.

О.Ж. Мамырбаев¹, Д.О. Оралбекова^{1,2*}, К. Әлімхан^{1,3}, М. Othman⁴, Б. Жумажанов¹

¹ҚР БҒМ ҒК Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институт, Алматы, Қазақстан;

²Satbayev University, Алматы, Қазақстан;

³Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан;

⁴Universiti Putra Malaysia, Куала-Лумпур, Малайзия.

E-mail: dinaoral@mail.ru

**ҚАЗАҚША СӨЙЛЕУДІ ТАҢУ ҮШІН ГИБРИДТІ ИНТЕГРАЛДЫҚ
МОДЕЛЬДЕРДІ ҚОЛДАНУ**

Аннотация. Сөйлеуді тану адамның машинамен және технологиямен әрекеттесуінде маңызды рөл атқарады. Сөйлеуді тану мақсаты – адамның сөйлеген сөзін машина оқылатын формаға түрлендіру болып табылады. Сөйлеуді мәтінге аудару технологиясы интерфейсті басқару, дауыспен іздеу, сөйлеуді

синтездеу және т.б. сияқты облыстарда кең ауқым қолданылады. Бұл жүйелер пайдаланушыға ыңғайлылығымен және қарапайымдылығымен ерекшеленеді, бұл құрылғыны қосымша механизмдерсіз басқаруға көмектеседі. Интегралды модельдерге негізделген қазіргі заманғы автоматты түрде сөйлеуді тану жүйелері жүйені оқыту үшін бірнеше мың сағаттық сөйлеуге арналған үлкен корпусы бар тілді тану дәлдігі бойынша өте жақсы нәтижелер көрсетілуде. Мұндай модельдер өте үлкен көлемдегі оқу деректерін қажет етеді, бұл қазақ тілі сияқты ресурсы төмен тілдер үшін үлкен проблема тудырады. Дегенмен, көптеген зерттеулер CTC-тің басқа интегралдық модельдермен үйлесуі тіпті шектеулі оқу деректерімен жүйелердің өнімділігін жақсартатынын көрсетті. Осыған орай, 250 сағаттық сөйлеу көлемімен қазақ тілінің сөйлеу корпусы жинақталды. Біздің жұмысымызда алғаш рет қазақ тілін танудың зейін механизміне негізделген бірлескен CTC моделі мен кодек құрастырылды. Бұл модельде зейін механизмінің гибриді түрі қолданылды. Алынған нәтижелер сыртқы тілдік модельдерді пайдалану кезінде ұсынылған интегралдық модель жүйенің көрсеткіштерін жақсартқанын және қазақ тілі үшін деректер жиынтығымызда ең жақсы нәтижені көрсеткенін көрсетті. Эксперимент нәтижесінде жүйе 5,9% CER деңгейіне жетті, бұл қазақ тілін тану үшін бәсекеге қабілетті нәтиже.

Түйін сөздер: сөйлеуді автоматты тану, интегралды модель, CTC, назар аудару механизмі, ресурсы шектеулі тілдер.

O.Zh. Mamyrbayev¹, D.O. Oralbekova^{1,2*}, K. Alimhan^{1,3}, M. Othman⁴, B. Zhumazhanov¹

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

²Satbayev University, Almaty, Kazakhstan;

³L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan;

⁴Universiti Putra Malaysia, Kuala Lumpur, Malaysia.

E-mail: dinaoral@mail.ru

APPLICATION OF HYBRID END TO END MODELS FOR KAZAKH SPEECH RECOGNITION

Abstract. Speech recognition plays a significant role in the interaction of a person with a machine and technology. The goal of speech recognition is to convert human speech into a machine-readable format. The speech to text technology is used in a wide range of tasks, such as interface control, voice search, speech synthesis, etc. These systems are distinguished by their user-friendliness, which helps to operate the device without additional mechanisms. Modern automatic speech recognition systems based on integral models show very good results in terms of the accuracy of language recognition, which have large corpora for several thousand hours of speech for training the system. Such models require a very large amount of training data, which is problematic for low-resource languages like Kazakh. However, many studies have shown that the combination of CTC with other integral models improves the performance of systems even with limited training data. In this regard, the speech corpus of the Kazakh language was assembled with a volume of 250 hours of speech. In our work, for the first time, a joint CTC model and a codec based on the attention mechanism for recognizing Kazakh speech were built. In this model, a hybrid type of attention mechanism was applied. The results obtained showed that the proposed integral model, when using external language models, improved the system's indicators and showed the best result on our dataset for the Kazakh language. As a result of the experiment, the system reached 5.9% CER, which is a competitive result for the recognition of Kazakh speech.

Key words: automatic speech recognition, end-to-end, CTC, attention mechanism, low-resource languages.

Введение. Прогресс информационных технологий и вычислительной техники привело к улучшению процессов во многих методах машинного обучения, в частности в распознавании речи. Системы автоматического распознавания речи (САРР), такие как синтез речи, машинный перевод и т.д. уже стали неотъемлемой частью в нашей повседневной жизни и играют огромную роль в развитии других технологий машинного обучения. САРР нашли широкое применение в различных сферах деятельности, таких как голосовое управление автомобилем, домом и бытовой техникой, а также голосовой ввод в различных приложениях, навигационная система и сервисы для людей с ограниченными возможностями. И это лишь некоторые примеры использования САРР. Для построения

таких систем вначале были использованы модели на основе GMM-HMM [1] и n-грамм, а после появления машинного обучения, а именно метода глубокого обучения и применение рекуррентных нейронных сетей (RNN) начали использовать модели на основе DNN-HMM, т.е. гибридные модели, которые значительно улучшили качество САРР [2]. Но такие архитектуры имели свои недостатки, в таких моделях обычно используется внешняя ЯМ, что делает систему очень тяжелой, с другой стороны, для построения акустической и языковой модели необходимо вручную создавать словарь произношения для сопоставления слов с последовательностями фонем, что требует дополнительного времени и возможности. И компоненты САРР обучаются независимо друг от друга, что затрудняет управление процессом распознавания.

На сегодняшний день растет популярность другой модели – интегральной (E2E), которая представляет многокомпонентную архитектуру одной нейронной сетью. E2E представляет систему как одну нейронную сеть в отличие от GMM-HMM, которая состоит из независимых компонентов. Интегральные модели объединяют акустическую (AM), языковую модели (ЯМ) и модель произношения в одну нейросеть. Таким образом, одной сетью можно легко настроить и управлять. E2E система реализует прямое отражение акустических показателей в последовательности меток без промежуточных состояний, что нет необходимости осуществлять дальнейшую обработку на выходе. Эти процессы делают систему легкой для реализации. Существуют несколько типов интегральных моделей, как коннекционная временная классификация (СТС), модели кодер-декодер на основе механизма внимания, рекуррентный нейронный преобразователь (RNN-T) и модели на основе условных случайных полей (Conditional Random Fields, CRF). В модели на основе СТС нет необходимости выравнивания на уровне кадра между акустикой и транскрипцией, так как выделяется специальный токен, как «метка», который определяет начало и конец одной фонемы [3]. RNN-T расширяет модель на основе СТС дополнительным компонентом, который обучается совместно на имеющихся акустических данных. RNN-T не требует согласованных обучающих данных, как и СТС. В моделях кодер-декодера на основе механизма внимания, кодер является AM – преобразует входную речь в высокоуровневое представление, механизм внимания – это и есть модель выравнивания, и определяет закодированные кадры, которые имеют отношение к созданию текущего вывода, декодер аналогичен ЯМ – работает авторегрессивно, предсказывая каждый выходной токен в зависимости от предыдущих предсказаний [4]. Модель на основе CRF позволяет комбинировать локальную информацию для прогнозирования глобальной вероятностной модели по последовательностям [5]. Данные модели значительно упрощают процесс распознавания речи. Увеличение тренировочных данных улучшило качество систем АРР по сравнению с HMM [6]. Но необходимо отметить, что уменьшение данных увеличивает ошибки при распознавании. Однако E2E модели имеют гибкость, в которой можно их объединять для сглаживания их определенных недостатков.

Для реализации интегральных моделей требуется большое количество речевых данных для обучения, что является проблематичной для языков с ограниченными обучающими данными. И одним из этих языков является казахский язык. До сегодняшнего дня были разработаны системы только на основе моделей СТС [7, 20] для распознавания казахской речи с разными наборами тренировочных данных. Во многих исследованиях [8-10] было показано, что совместное использование СТС с другими интегральными моделями улучшает показатели систем даже с ограниченными обучающими данными. И это нас вдохновило в построении гибридной интегральной модели для распознавания казахской речи. В настоящий момент не были хорошо изучены интегральные системы для точного распознавания казахской речи, а именно на основе совместных моделей СТС и кодер-декодера с механизма внимания.

В этой работе мы предлагаем совместную модель на основе СТС и механизма внимания для распознавания казахской речи.

Структура исследовательской работы приведена в следующем порядке: в разделе 2 проведен аналитический обзор по научному направлению. В разделе 3 приведены принципы работы модели на основе СТС и внимания. Далее в разделе 4 описаны наши экспериментальные данные, корпус речи и оборудование для эксперимента, а также проанализированы полученные результаты. В заключительном разделе приведены выводы.

Материалы и методы. Краткий обзор по направлению. Для улучшения интегральной системы распознавания речи было предложено объединение двух основных моделей, называемый гибридной интегральной, как СТС и кодер-декодер моделей на основе механизма внимания, которое значительно улучшило качество системы.

В работе [11] (2016) предлагается совместный алгоритм декодирования для интегрального SAPP с гибридной архитектурой CTC и внимание, который эффективно применяет преимущества CTC и использует предположения Маркова для эффективного решения последовательных задач путем динамического программирования и модели на основе внимания – для выполнения выравнивания между акустическими кадрами и распознанными символами при декодировании. Были использованы тестовые наборы спонтанной японской и китайской речи и показали сопоставимую производительность с обычными современными SAPP на основе DNN / HMM без лингвистических ресурсов.

Takaaki Nogi и другие [12] (2017) представили современную модель интегрального автоматического распознавания речи (APP). Была реализована модель, где кодер представляет собой сверточную нейронную сеть глубокого анализа (CNN), основанную на сети VGG, и сеть CTC находится поверх кодера и обучается совместно с декодером на основе внимания. В процессе поиска луча были комбинированы предсказания CTC и кодера на основе внимания и отдельно обученная языковая модель LSTM. Авторы достигли снижения ошибок на 5–10% по сравнению с другими системами на спонтанной японской и китайской речи, а их интегральная модель превосходит традиционные гибридные системы ASR.

В работе [13] (2019) была улучшена гибридная модель, для начала было исследовано ограниченное по времени внимание с учетом местоположения CTC/внимание, устанавливая надлежащий размер ограниченного по времени окна внимания. Далее было введено ограниченное по времени самовнимание CTC/внимание, которое может лучше моделировать дальнедействующие зависимости между фреймами. Эксперименты с заданиями Wall Street Journal, расширенным многосторонним взаимодействием и коммутатором, демонстрируют эффективность предлагаемого ограниченного по времени самовнимания CTC/внимание. Наконец, чтобы исследовать устойчивость этого метода к шуму и реверберации, мы объединяем интерфейс обучающего нейронного формирователя луча с серверной частью CTC и внимание APP с ограниченным временем внимания в наборе данных CHiME-4. Уменьшение частоты ошибок по словам и повышение перцепционной оценки качества речи подтверждают эффективность этой структуры.

Такие гибридные интегральные модели также полезны при распознавании агглютинативных языков, в который входит и казахский язык.

В работе [14] (2020) была исследована онлайн-система ASR для японского языка с использованием модели, основанной на однонаправленных LSTM, обученных с использованием CTC с локальным механизмом внимания. В результате был получен лучший показатель по CER 9,87%. В результате работы частота ошибок по слогам составила 10,5%.

Hosung Park et al. [15] (2020) реализовали метод интегрального распознавания речи на основе Attention-CTC, в которой в качестве единиц распознавания использовались корейские графемы. Чтобы предсказать результаты сквозной модели, в этом исследовании используются выходные структуры графемных единиц. Построение сети на основе графем обеспечивает эффективное обучение за счет сокращения числа прогнозируемых выходных параметров. В результате работы частота ошибок по слогам составила 10,5%.

В [16] (2021) представлен новый ASR на основе CTC, CNN-LSTM и гибридный подход с механизмом внимания для арабского языка. Была добавлена языковая модель для достижения высоких результатов. Обучение и тестирование всех моделей было выполнено на корпусе, который содержит 7 часов современной стандартной арабской речи. Экспериментальные результаты показывают, что CNN-LSTM с фреймворком внимания превосходит обычный ASR и совместный фреймворк CTC-Внимание ASR в задаче распознавания арабской речи. Это, скорее всего, объясняется с отсутствием достаточного объема данных для обучения модели.

В [17] (2021) документе предлагается гибридная CTC с архитектурой внимания и алгоритм слогового изменения для амхарской системы автоматического распознавания речи (AASR) с использованием ее подсловных единиц, основанных на фонемах. Предложенная интегральная модель была обучена различным подсловам амхарского языка, а именно символам, фонемам, подсловам на основе символов и подсловам на основе фонем, созданным с помощью алгоритма сегментации кодирования пар байтов (byte-pair-encoding, BPE). Экспериментальные результаты показали, что контекстно-зависимые подслова на основе фонем, как правило, приводят к более точным системам распознавания речи, чем подслова на основе символов, фонем и символов. Был получен WER 18,38%.

Методология. Традиционные модели APP направлены на вычисление априорного распределения, $p(W|X)$, последовательности слов W , с учетом последовательности речевых признаков X . Интегральные

методы выполняют сопоставление входных данных с выходными последовательностями напрямую, тогда как традиционные модели факторизируют $p(W|X)$ в модуль языковой модели $p(W)$, которую можно обучить на чисто языковых данных, и вероятность акустической модели, $p(X|W)$, которая обучается на акустических данных с соответствующими языковыми метками.

Кодер-декодер с механизмом внимания. Интегральный метод, основанный на внимании, состоит из следующих элементов: подсеть кодера – преобразует последовательность акустических признаков в промежуточное представление, длина которого соответствует длине входной последовательности; подсеть декодера – предсказывает последовательность меток из промежуточной информации, предоставляемой подсетью кодера. Механизм внимания при декодировании сосредотачивает свое внимание на входные данные и выделяет все входные последовательности для обновления скрытых состояний нейронной сети и для прогнозирования следующего выходного данного [18]. Общая структура модели приведена на рисунке 1.

Модель, основанная на внимании, формулируется следующим образом. Кодер преобразует X в промежуточные вектора представления $H = (h_1, \dots, h_T)$:

$$H = \text{Encoder}(X) \tag{1}$$

Декодер генерирует полученные промежуточные вектора в выходные последовательности:

$$P(y|x) = \text{Attention Decoder}(H, y) \tag{2}$$

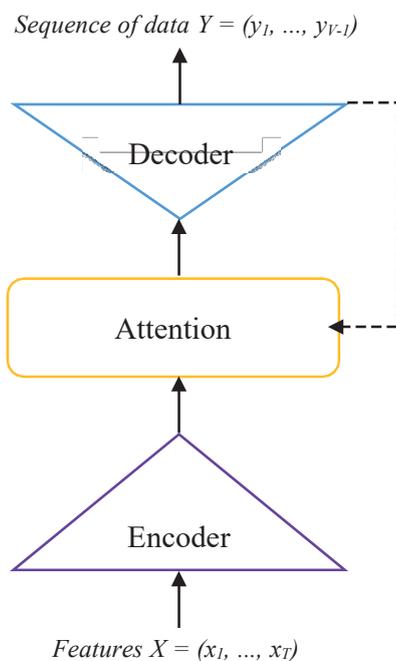


Рисунок 1 – Общая структура модели с механизмом внимания

Коннекционная временная классификация. Во время обучения ИНС с функцией СТС выходной слой ИНС содержит для каждого символа блок выходной последовательности, и добавляется дополнительный блок для «пробела», который определяет бесшумную дорожку звука. Пусть y нас есть выходная последовательность $y = S_w(x)$. Допустим, что любой элемент выходного данного имеет вектора распределения вероятностей для каждой буквы V в момент времени t . Следовательно, определяем, который является вероятностью произнесения символа k из алфавита V в момент времени t . Если μ – это последовательность символов и «пробела» по входному данному x , то вероятность $P(\mu|x)$ можно вычислить следующим образом:

$$P(\mu|x) = \prod_t y_{\mu}^t \tag{3}$$

Из уравнения (3) видно, что элементы выходной последовательности не зависят друг от друга. Кроме того, есть необходимость введения дополнительного оператора, который будет удалять повторы букв и

«пробелы». Обозначим его как V . Таким образом, полная вероятность выходной последовательности можно представить следующим выражением (4):

$$P(y|x) = \sum_{\mu \in B^{-1}(y)} P(\mu|x) \quad (4)$$

Приведенное уравнение определяет сумму по всем выравниваниям с использованием динамического программирования, и помогает обучать ИНС на неразмеченных данных (5):

$$CTC(x) = -\log P(y|x) \quad (5)$$

Необходимо отметить, что ИНС может быть обучена на любом градиентном оптимизированном алгоритме. В архитектуре CTC в качестве шифратора может быть использована любая разновидность ИНС.

Для декодирования CTC-модели было представлено в [19] предположение (6):

$$\operatorname{argmax} P(y|x) \approx V(\mu^\circ) \quad (6)$$

где $\mu^\circ = \operatorname{argmax} P(y|x)$.

CTC устраняет необходимость выравнивания данных и позволяет применять довольно много количество слоев, простую структуру сети для реализации модели, который отображает аудио в текст.

Предлагаемая модель. В этой работе мы предлагаем гибридную модель CTC + внимания для распознавания казахской слитной речи (рис.2).

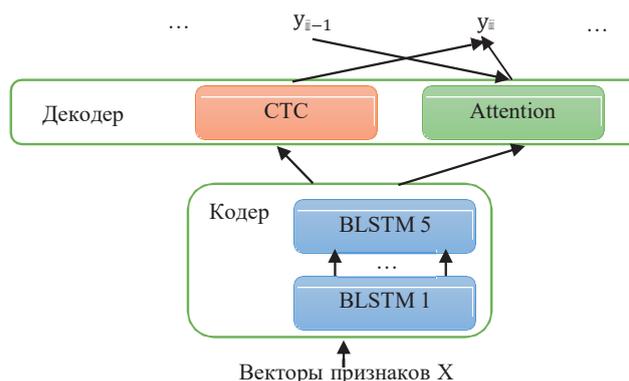


Рисунок 2 – Структура предлагаемой гибридной модели

Функция CTC была применена для обучения декодера, т.к. алгоритм CTC использует монотонное выравнивание между последовательностями речи и меток и быстро обучает сеть. И кроме того, предлагаемая модель будет эффективной при распознавании речи в шумных условиях. Помимо этого, CTC помогает ускорить процесс оценки желаемого выравнивания без помощи приближительных оценок данного процесса, который требует большого труда и времени. Предлагаемая модель включает в себя модель внимания и CTC следующим образом:

$$L_{CTC/Att} = \tau L_{CTC}(x) + (1 - \tau) L_{Att}(x)$$

где τ – настраиваемый параметр и удовлетворяет условие $-0 \leq \tau \leq 1$.

В качестве кодера были использованы сети двунаправленного LSTM с пирамидальной структурой, а декодером являются механизм внимания и CTC, для последовательного декодирования выхода сети.

Результаты. Корпус и эксперименты. Получение хороших результатов напрямую зависит от объема тренировочных данных. Для обучения интегральной системы нужны лишь аудиоданные с транскрипциями. В связи с этим, было приобретено необходимое оборудование для записи аудиоданных. Для сбора данных был собран текстовый массив из разных бумажных и интернет-источников. Были вовлечены студенты, магистранты, докторанты, а также сотрудники образовательных институтов, которые в совершенстве владеют казахским языком.

В данной работе для обучения модели применялся обучающий речевой корпус для казахского

языка, содержащий около 250 часов речи, собранный научными сотрудниками лаборатории «Компьютерной инженерии интеллектуальных систем» ИИВТ МОН РК [7]. При создании корпуса учтены различные виды речи: подготовленная, спонтанная. В корпусе звуковые файлы, полученные от разных дикторов, разделены на тренировочную и тестовую части. При этом мы руководствовались следующими соображениями: тестовая часть корпуса составляет 10% всего корпуса, ни один из дикторов не используется одновременно в обеих частях, в каждой части есть представители разного пола, тренировочный и тестовый наборы не содержат одинаковых предложений, тестовый набор обеспечивает разнообразие слов и их фонетических контекстов и частоту встречаемости.

Корпус состоит из следующих записей:

- записи около 200 дикторов, носителей казахского языка разных возрастов и полов. Каждому диктору были выделены тексты для озвучки. Для текста были отобраны предложения разнообразными словосочетаниями и с максимально богатой фонемой слов. Текстовые данные были собраны с новостных сайтов и аудиокниг на казахском языке. А также были использованы другие материалы в электронном виде. Все записи были сохранены в отдельные файлы с транскрипциями. Всего было записано 130 часов аудиоданных;

- аудиозаписи трансляций новостей – более 50 часов аудиоданных;
- аудиозаписи с художественных аудиокниг – более 20 часов записи.
- записи телефонных разговоров с транскрипциями – более 50 часов аудиоданных;

Для транскрибирования телефонных разговоров была создана специальная методика по составлению текстовок, т.к. данная речь является спонтанной, и может содержать информацию на другом языке, а также речь может содержать ярко выраженный акцент и разного рода речевых шумов. Для транскрибирования телефонных разговоров были вовлечены молодые волонтеры – студенты последних курсов, магистранты и докторанты алматинских национальных университетов.

Все аудиоматериалы имели формат .wav. Все аудиоданные были приведены в одноканальное. Был использован метод PCM для преобразования данных в цифровой вид. Дискретная частота 44,1 кГц, разрядность 16 бит.

Для системы интегрального распознавания речи был применен инструментарий PyTorch. Эксперименты проводились на оборудовании, предоставленном Институтом Информационных и Вычислительных Технологий, на котором это исследование проводилось в качестве исследовательской практики, с графическими процессорами AMD Ryzen 9 с GeForce RTX3090. Наборы данных хранились на 1000 GB SSD памяти, чтобы обеспечить более быстрый поток данных во время обучения.

Предварительные настройки. Извлечение признаков является важной частью системы распознавания речи и в этой части были использованы сверточные нейронные сети с окном 25 мс, который соответствует размеру окна в MFCC. В качестве функции активации был применен softmax [22]. Далее был добавлен слой maxpooling для фильтрации нижних частот речи. Кроме того, были дополнительно введены слои сжатия и нормализации извлеченных признаков.

В качестве кодера были применены двунаправленные LSTM-сети, а механизмом внимания был многослойный перцептрон. CTC решили использовать при декодировании и был применен однопроходный метод (one-pass method) [12]. Также отдельно обучили внешнюю языковую модель.

Проведение эксперимента и сравнение результатов. В настоящее время, очень мало исследований по распознаванию казахской речи на основе интегральных моделей. Есть, конечно, работы, которые были реализованы на основе традиционных и DNN-HMM моделей, но были использованы меньший объем тренировочных данных [21].

Для сравнения результатов были взяты несколько работ [7, 20], связанные с распознаванием казахской речи на основе интегрального подхода. В работе [7] была применена модель CTC с использованием внешней языковой модели и без нее. Были использованы несколько типов нейронных сетей, как ResNet, LSTM, MLP, Bidirectional LSTM. Система была обучена на 123-часовом корпусе.

В [20] был предложен новый метод, который берет предварительно обученную модель на датасете VoxForge со 100 часами русской речи и применяет ее знания в качестве базы для построения своей нейронной сети в рамках метода трансферного обучения. Набор данных был разделен на 80%, 10% и 10% для обучения, проверки и тестирования соответственно. Нейронная сеть имела следующие параметры: 2 слоя LSTM и BLSTM, 128 нейронов на каждый слой и 500 эпох. В качестве функции потерь была применена CTC. Был использован 20-часовой корпус казахской речи для обучения нейронной сети.

Гибридную интегральную модель обучили до 20 эпох с применением оптимизатора Адама [23],

размер пакета установили 5. Языковая модель была обучена на данных, содержащий из 125 уникальных предложений.

Результаты экспериментов по распознаванию речи других работ и нашей модели приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты других работ и нашей модели на основе интегрального подхода

Модель	WER, %	CER, %	Объем данных, часов	
Мамырбаев и др. (с языковой моделью)	MLP	63.26	39.11	126
	LSTM	46.51	24.43	
	Conv+LSTM	39.31	22.92	
	BLSTM	20.66	13.61	
	ResNet	19.57	11.52	
Амиргалиев и др. (LSTM)		–	24	20
	(BLSTM)	–	32	
Наша модель (CTC + внимания)		26.7	21.9	20
		19.7	12.4	125
		15.5	9.8	250
Наша модель (CTC + внимания с языковой моделью)		24.6	18.4	20
		16.8	9.6	125
		12.3	5.9	250

Результаты в таблице 1 показывают, что предложенная нами модель CTC+ внимание значительно превзошла CTC моделей. Наша модель показала относительные улучшения, 5.9% CER с использованием языковой моделью. Необходимо отметить, что наша гибридная модель CTC+ внимание достигло лучшей производительности, когда мы использовали $\lambda = 0.3$. Был применен гибридный механизм внимания. Как видно из полученных результатов, модель улучшила свои показатели при добавлении языковых моделей и при увеличении тренировочных данных (рис. 3). Это еще раз доказывает насколько объем данных влияет на показатели системы.

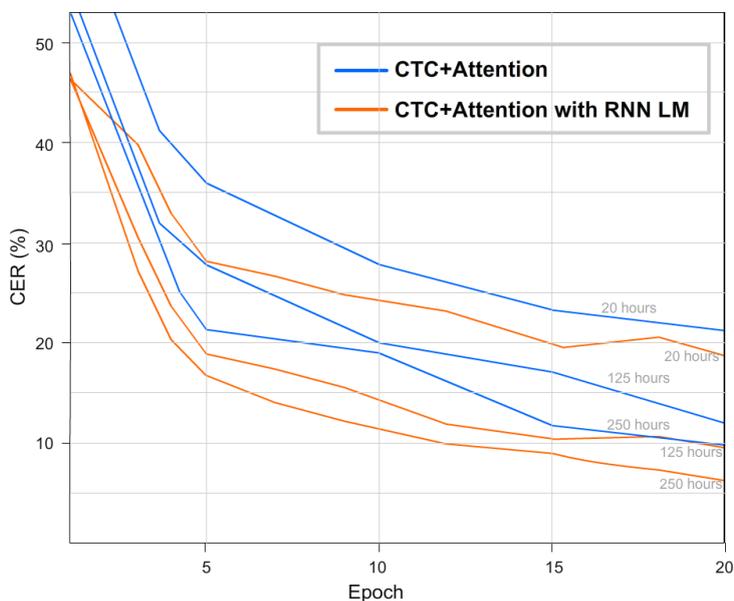


Рисунок 3 – Сравнительный график, по таблице 1, нашей модели с использованием и без использования языковой модели п с тремя наборами данных: на 20, 125, 250-часовом корпусе

Обсуждение. Во время эксперимента были применены корпуса с разными объемами данных. Уменьшение данных привело к ухудшению точности распознавания речи. Совмещение методов хорошо повлияло на показатели системы, чем использование одного CTC. Также добавление внешней языковой модели благотворно повлияло на результат. Но нужно отметить, что данное дополнение «утяжеляет» систему.

Эти подходы были построены на основе двунаправленных сетей и имеют последовательную тенденцию при распознавании, таким образом, нужно ждать ввода каждого аудио высказывания для обработки данных, и этот процесс приводит к задержке, что ограничивает работу таких систем. Эти

модели не адаптированы для распознавания речи в реальном времени. Поэтому очень важно учитывать данный недостаток, и попытаться применить методы, которые обрабатывают потоковую речь.

Заключение. В работе было рассмотрено методы для построения интегральных систем распознавания речи, а именно совместное использование CTC и кодер-декодер на основе механизма внимания. Была построена архитектура данной модели с помощью нейронных сетей, как LSTM и BLSTM. Результаты экспериментов показали, что построенная модель хорошо работает с использованием языковых моделей для казахского языка и превзошла не только модели на основе DNN-HMM, но и CTC модели, которые были обучены меньшим объемом речевых данных и показала лучшие результаты по распознаванию казахской речи по точности распознавания символов на 5.9%.

В дальнейших исследованиях планируется проведение экспериментов с использованием сети Transformer. Кроме того, планируется выполнение исследований с помощью объединения других моделей интегральных систем, т.к. исследовательские работы, основанные на гибридных интегральных моделях, показывают лучший результат чем использование их по отдельности.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP08855743).

Information about authors:

Mamyrbayev O.Zh. – Institute of Information and Computational Technologies, Almaty, Kazakhstan, morkenj@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8318-3794>;

Oralbekova D.O. – Satbayev University, Almaty, Kazakhstan; Institute of Information and Computational Technologies, Almaty, Kazakhstan; E-mail: dinaoral@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4975-6493>;

Alimhan K. – Institute of Information and Computational Technologies, Almaty, Kazakhstan; L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan; keylan@live.jp; <https://orcid.org/0000-0003-0766-2229>;

Othman M. – Universiti Putra Malaysia, Kuala Lumpur, Malaysia; mothman@upm.edu.my, <https://orcid.org/0000-0002-5124-5759>;

Zhumazhanov B. – Institute of Information and Computational Technologies, Almaty, Kazakhstan; bagasharj@mail.ru.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Juang B. & Rabiner L. (1991). Hidden Markov Models for Speech Recognition. *Technometrics*, 33(3), 251-272. doi:10.2307/1268779.

[2] Hinton Geoffrey & Deng li & Yu Dong & Dahl George & Mohamed Abdel-rahman & Jaitly Navdeep & Senior Andrew & Vanhoucke Vincent & Nguyen Patrick & Sainath Tara & Kingsbury Brian. (2012). Deep Neural Networks for Acoustic Modeling in Speech Recognition. *Signal Processing Magazine, IEEE*, vol. 29, no. 6.

[3] Brown Judith & Smaragdis Paris. (2009). Hidden Markov and Gaussian mixture models for automatic call classification. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 125. EL221-4. 10.1121/1.3124659. 4 Zeineldeen M., Zeyer A., Zhou W., Ng T.W., Schlüter R. & Ney H. (2020). A systematic comparison of grapheme-based vs. phoneme-based label units for encoder-decoder-attention models. *arXiv: Audio and Speech Processing*.

[4] W. Chan, N. Jaitly, Q. Le and O. Vinyals, (2016) “Listen, attend and spell: A neural network for large vocabulary conversational speech recognition,” 2016 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), Shanghai, 2016, pp. 4960-4964, doi: 10.1109/ICASSP.2016.7472621.

[5] G. Zweig and P. Nguyen, (2009) “A segmental CRF approach to large vocabulary continuous speech recognition,” 2009 IEEE Workshop on Automatic Speech Recognition & Understanding, 2009, pp. 152-157, doi: 10.1109/ASRU.2009.5372916.

[6] H. Sak, A. Senior, K. Rao, and F. Beaufays, (2015) “Fast and accurate recurrent neural network acoustic models for speech recognition,” in *Proc. INTERSPEECH*, 2015.

[7] O. Mamyrbayev, D. Oralbekova, A. Kydyrbekova, T. Turdalykyzy and A. Bekarystankyzy, (2021) “End-to-End Model Based on RNN-T for Kazakh Speech Recognition,” 2021 3rd International Conference on Computer Communication and the Internet (ICCCI), 2021, pp. 163-167, doi: 10.1109/ICCCI51764.2021.9486811.

[8] S. Watanabe, T. Hori, S. Kim, J.R. Hershey and T. Hayashi, (2017) “Hybrid CTC/Attention Architecture for End-to-End Speech Recognition,” in *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, vol. 11, no. 8, pp. 1240-1253, Dec. 2017, doi: 10.1109/JSTSP.2017.2763455.

[9] Miao Haoran & Cheng Gaofeng & Zhang Pengyuan & Li Ta & Yan Yonghong. (2019). Online Hybrid CTC/Attention Architecture for End-to-End Speech Recognition. 2623-2627. 10.21437/Interspeech.2019-2018.

[10] Nie Mingxin & Lei Zhichao. (2020). Hybrid CTC/Attention Architecture with Self-Attention and Convolution Hybrid Encoder for Speech Recognition. *Journal of Physics: Conference Series*. 1549. 052034. 10.1088/1742-6596/1549/5/052034.

[11] Suyoun Kim, Takaaki Hori, and Shinji Watanabe. Joint CTC-attention based end-to-end speech recognition using multi-task learning - 2016

[12] Hori T., Watanabe S., Zhang Y., Chan W. (2017) *Advances in Joint CTC-Attention based End-to-End Speech Recognition with a Deep CNN Encoder and RNN-LM – 2017*.

- [13] Wu L., Li T., Wang L., Yan Y. (2019) Improving Hybrid CTC/Attention Architecture with Time-Restricted Self-Attention CTC for End-to-End Speech Recognition. *Appl. Sci.* 2019, 9, 4639. <https://doi.org/10.3390/app9214639>.
- [14] Chen Jiahao & Nishimura Ryota & Kitaoka Norihide. (2020). End-to-end recognition of streaming Japanese speech using CTC and local attention. *APSIPA Transactions on Signal and Information Processing*. 9. 10.1017/ATSIP.2020.23.
- [15] H. Park et al., "Korean Grapheme Unit-based Speech Recognition Using Attention-CTC Ensemble Network," 2019 International Symposium on Multimedia and Communication Technology (ISMAC), 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/ISMAC.2019.8836146.
- [16] Alsayadi Hamzah & Abdelhamid Abdelaziz & Hegazy Islam & Fayed Zaki. (2021). Arabic speech recognition using end-to-end deep learning. *IET Signal Processing*. 10.1049/sil2.12057.
- [17] Emiru Eshete & Li Yaxing & Fesseha Awet & Diallo Moussa. (2021). Improving Amharic Speech Recognition System Using Connectionist Temporal Classification with Attention Model and Phoneme-Based Byte-Pair-Encodings. *Information*. 12. 62. 10.3390/info12020062.
- [18] W. Chan, N. Jaitly, Q. Le and O. Vinyals, (2016) "Listen, attend and spell: A neural network for large vocabulary conversational speech recognition," 2016 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), Shanghai, China, 2016, pp. 4960-4964, doi: 10.1109/ICASSP.2016.7472621.
- [19] Graves Alex & Fernández Santiago & Gomez Faustino & Schmidhuber Jürgen. (2006). Connectionist temporal classification: Labelling unsegmented sequence data with recurrent neural networks. *ICML 2006 - Proceedings of the 23rd International Conference on Machine Learning*. 2006. 369-376. 10.1145/1143844.1143891.
- [20] N. Amirgaliyev & Kuanysbay Darkhan & O. Baimuratov. (2020). Development of Automatic Speech Recognition for Kazakh Language using Transfer Learning.
- [21] Mamyrbayev O., Kydyrbekova A., Alimhan K., Oralbekova D., Zhumazhanov B., Nuranbayeva B. (2021). Development of security systems using DNN and i & x-vector classifiers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (112)), 32–45. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239186>.
- [22] Keren and B. Schuller, (2016) "Convolutional RNN: An enhanced model for extracting features from sequential data," in *Proc. Int. Joint Conf. Neural Netw.*, 2016, pp. 3412–3419.
- [23] Kingma Diederik & Ba Jimmy. (2014). Adam: A Method for Stochastic Optimization. *International Conference on Learning Representations*.

REFERENCES

- [1] Juang B. & Rabiner L. (1991). Hidden Markov Models for Speech Recognition. *Technometrics*, 33(3), 251-272. doi:10.2307/1268779.
- [2] Hinton Geoffrey & Deng li & Yu Dong & Dahl George & Mohamed Abdel-rahman & Jaitly Navdeep & Senior Andrew & Vanhoucke Vincent & Nguyen Patrick & Sainath Tara & Kingsbury Brian. (2012). Deep Neural Networks for Acoustic Modeling in Speech Recognition. *Signal Processing Magazine, IEEE*, vol. 29, no. 6.
- [3] Brown Judith & Smaragdis Paris. (2009). Hidden Markov and Gaussian mixture models for automatic call classification. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 125. EL221-4. 10.1121/1.3124659. 4 Zeineldeen M., Zeyer A., Zhou W., Ng T.W., Schlüter R. & Ney H. (2020). A systematic comparison of grapheme-based vs. phoneme-based label units for encoder-decoder-attention models. *arXiv: Audio and Speech Processing*.
- [4] W. Chan, N. Jaitly, Q. Le and O. Vinyals, (2016) "Listen, attend and spell: A neural network for large vocabulary conversational speech recognition," 2016 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), Shanghai, 2016, pp. 4960-4964, doi: 10.1109/ICASSP.2016.7472621.
- [5] G. Zweig and P. Nguyen, (2009) "A segmental CRF approach to large vocabulary continuous speech recognition," 2009 IEEE Workshop on Automatic Speech Recognition & Understanding, 2009, pp. 152-157, doi: 10.1109/ASRU.2009.5372916.
- [6] H. Sak, A. Senior, K. Rao, and F. Beaufays, (2015) "Fast and accurate recurrent neural network acoustic models for speech recognition," in *Proc. INTERSPEECH*, 2015.
- [7] O. Mamyrbayev, D. Oralbekova, A. Kydyrbekova, T. Turdalykyzy and A. Bekarystankyzy, (2021) "End-to-End Model Based on RNN-T for Kazakh Speech Recognition," 2021 3rd International Conference on Computer Communication and the Internet (ICCCI), 2021, pp. 163-167, doi: 10.1109/ICCCI51764.2021.9486811.
- [8] S. Watanabe, T. Hori, S. Kim, J. R. Hershey and T. Hayashi, (2017) "Hybrid CTC/Attention Architecture for End-to-End Speech Recognition," in *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, vol. 11, no. 8, pp. 1240-1253, Dec. 2017, doi: 10.1109/JSTSP.2017.2763455.
- [9] Miao Haoran & Cheng Gaofeng & Zhang Pengyuan & Li Ta & Yan Yonghong. (2019). Online Hybrid CTC/Attention Architecture for End-to-End Speech Recognition. 2623-2627. 10.21437/Interspeech.2019-2018.
- [10] Nie Mingxin & Lei Zhichao. (2020). Hybrid CTC/Attention Architecture with Self-Attention and Convolution Hybrid Encoder for Speech Recognition. *Journal of Physics: Conference Series*. 1549. 052034. 10.1088/1742-6596/1549/5/052034.
- [11] Suyoun Kim, Takaaki Hori, and Shinji Watanabe. Joint CTC-attention based end-to-end speech recognition using multi-task learning – 2016.
- [12] Hori T.; Watanabe S.; Zhang Y.; Chan W. (2017) Advances in Joint CTC-Attention based End-to-End Speech Recognition with a Deep CNN Encoder and RNN-LM – 2017.
- [13] Wu L.; Li T.; Wang L.; Yan Y. (2019) Improving Hybrid CTC/Attention Architecture with Time-Restricted Self-Attention CTC for End-to-End Speech Recognition. *Appl. Sci.* 2019, 9, 4639. <https://doi.org/10.3390/app9214639>.
- [14] Chen Jiahao & Nishimura Ryota & Kitaoka Norihide. (2020). End-to-end recognition of streaming Japanese speech using CTC and local attention. *APSIPA Transactions on Signal and Information Processing*. 9. 10.1017/ATSIP.2020.23.
- [15] H. Park et al., "Korean Grapheme Unit-based Speech Recognition Using Attention-CTC Ensemble Network," 2019 International Symposium on Multimedia and Communication Technology (ISMAC), 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/ISMAC.2019.8836146.
- [16] Alsayadi Hamzah & Abdelhamid Abdelaziz & Hegazy Islam & Fayed Zaki. (2021). Arabic speech recognition using end-to-end deep learning. *IET Signal Processing*. 10.1049/sil2.12057.

- [17] Emiru Eshete & Li Yaxing & Fesseha Awet & Diallo Moussa. (2021). Improving Amharic Speech Recognition System Using Connectionist Temporal Classification with Attention Model and Phoneme-Based Byte-Pair-Encodings. *Information*. 12. 62. 10.3390/info12020062.
- [18] W. Chan, N. Jaitly, Q. Le and O. Vinyals, (2016) "Listen, attend and spell: A neural network for large vocabulary conversational speech recognition," 2016 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), Shanghai, China, 2016, pp. 4960-4964, doi: 10.1109/ICASSP.2016.7472621.
- [19] Graves Alex & Fernández Santiago & Gomez Faustino & Schmidhuber Jürgen. (2006). Connectionist temporal classification: Labelling unsegmented sequence data with recurrent neural networks. *ICML 2006 - Proceedings of the 23rd International Conference on Machine Learning*. 2006. 369-376. 10.1145/1143844.1143891.
- [20] N. Amirgaliyev & Kuanyshbay Darkhan & O. Baimuratov. (2020). Development of Automatic Speech Recognition for Kazakh Language using Transfer Learning.
- [21] Mamyrbayev O., Kydyrbekova A., Alimhan K., Oralbekova D., Zhumazhanov B., Nuranbayeva B. (2021). Development of security systems using DNN and i & x-vector classifiers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (112)), 32–45. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239186>.
- [22] Keren and B. Schuller, (2016) "Convolutional RNN: An enhanced model for extracting features from sequential data," in *Proc. Int. Joint Conf. Neural Netw.*, 2016, pp. 3412–3419.
- [23] Kingma Diederik & Ba Jimmy. (2014). Adam: A Method for Stochastic Optimization. *International Conference on Learning Representations*.

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАТИКА

Ж.С. Абдимуратов, В.И. Дмитриченко, М.А. Джетписов, Е.Н. Жагыпаров АДАПТАЦИЯ ЗАЩИТЫ РЕЛЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН.	6
Ж.С. Авкурова, Б.К. Абдураимова, С. Гнатюк, Л.М. Кыдыралина МОДЕЛЬ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ РАННЕГО ВЫЯВЛЕНИЯ АРТ-АТАК И ИДЕНТИФИКАЦИИ НАРУШИТЕЛЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ В КИБЕРПРОСТРАНСТВЕ.	17
Т.С. Байшоланов, Ж.М. Алимжанова, Н. Байшолан, К.Е. Кубаев, К.С. Байшоланова ОЦЕНКА СТОЙКОСТИ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ ШИФРОВ С ПОМОЩЬЮ АНАЛИЗА ШИФРТЕКСТОВ.....	26
Ж.С. Есенгалиева, К.Н. Касылкасова, А.О. Касылкасова АНАЛИЗ МЕДИЦИНСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ, СОЗДАННЫХ СПЕЦИАЛЬНО ДЛЯ БОРЬБЫ С COVID-19.....	34
Ж.С. Иксебаева, К. Жетписов, Ж.М. Муратова РАЗРАБОТКА КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПРОВЕРКИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ.	43
В.А. Лахно, Б.С. Ахметов, М.Б. Ыдырышбаева, Ш. Сагындыкова ПРИМЕНЕНИЕ СЕТИ БАЙЕСА СО СКРЫТЫМИ ВЕРШИНАМИ В СЕКТОРАЛЬНЫХ СППР ДЛЯ ЗАДАЧ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ.	50
О.Ж. Мамырбаев, Д.О. Оралбекова, К. Алимхан, М. Othman, Б. Жумажанов ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНОЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ КАЗАХСКОЙ РЕЧИ.....	58
А.Р. Оразаева, Д.А. Тусупов, С.В. Павлов, Г.Б. Абдикеримова ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБРАБОТКИ БИОМЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИЛЬТРОВ.....	69
Ж.М. Ташенова, Э.Н. Нурлыбаева, Ж.К. Абдугулова, Ш.А. Аманжолова МЕТОДЫ БЕЗОПАСНОСТИ И ШИФРОВАНИЯ В ОБЛАЧНОЙ СИСТЕМЕ.....	77
О.А. Усатова, А.Ш. Баракова АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ВЕБ-РЕСУРСОВ.	88
Г.С. Ыбыгаева, Н.Ф. Хайрова, К.Ж. Мухсина, Б.Ж. Жумажанов ОБЗОР ПРОБЛЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ ОНТОЛОГИЙ.	96
К.С. Чезимбаева, М.Ж. Батырова ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА СЕТЬ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ (IOT) ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ УМНОГО ДОМА.	107

ФИЗИКА

Г.Б. Абдраманова, О. Имамбек, А.М. Надир, М.Б. Мырзабаева УПРУГОЕ РАССЕЙЯНИЕ ПРОТОНОВ НА ЯДРЕ ${}^3\text{He}$ ПРИ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ЭНЕРГИЯХ.....	117
А.Е. Амантаева, Г.Р. Сүбебекова, А.Т. Агишев, С.А. Хохлов ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КАТАКЛИЗМИЧЕСКОЙ ПЕРЕМЕННОЙ ЗВЕЗДЫ ПРОМЕЖУТОЧНОГО ПЕРИОДА V1239 HERCULES.....	124
Т.Н. Исмагамбетова, М.Т. Габдуллин, Т.С. Рамазанов СТРУКТУРНЫЕ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ ПЛОТНОЙ ВОДОРОДНОЙ ПЛАЗМЫ.	131

МАЗМҰНЫ

ИНФОРМАТИКА

Ж.С. Абдимуратов, В.И. Дмитриченко, М.А. Джетписов, Е.Н. Жагыпаров ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНДАҒЫ ЦИФРЛЫҚ ҚОСАЛҚЫ СТАНЦИЯЛАРДЫ ЖОБАЛАУ КЕЗІНДЕ ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫҢ РЕЛЕЛІК ҚОРҒАНЫСЫН БЕЙІМДЕУ	6
Ж.С. Авкурова, Б.К. Абдураимова, Б. Гнатюк, Л.М. Қыдыралина АРТ-ШАБУЫЛДАРДЫ ЕРТЕ АНЫҚТАУҒА ЖӘНЕ КИБЕРКЕҢІСТІКТЕГІ ҚАУІПСІЗДІК БҰЗУШЫЛАРЫН АНЫҚТАУҒА АРНАЛҒАН ПАРАМЕТРЛЕР МОДЕЛІ	17
Т.С. Байшоланов, Ж.М. Алимжанова, Н. Байшолан, К.Е. Кубаев, К.С. Байшоланова ШИФРМӘТІНДІ ТАЛДАУ АРҚЫЛЫ КРИПТОГРАФИЯЛЫҚ ШИФРЛАРДЫҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН БАҒАЛАУ	26
Ж.С. Есенғалиева, К.Н. Касылқасова, А.О. Касылқасова COVID-19-БЕН КҮРЕСУ ҮШІН АРНАЙЫ ЖАСАЛҒАН МЕДИЦИНАЛЫҚ ҚОСЫМШАЛАРДЫ ТАЛДАУ	34
Ж.С. Иксебаева, К. Жетписов, Ж.М. Муратова ТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰЖАТТАМАНЫ АВТОМАТТЫ ТҮРДЕ ТЕКСЕРУДІҢ ТҰЖЫРЫМДАМАЛЫҚ МОДЕЛІН ӨЗІРЛЕУ	43
В.А. Лахно, Б.С. Ахметов, М.Б. Ыдырышбаева, Ш. Сагындыкова КИБЕРҚАУІПСІЗДІКТІ ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ ҮШІН СЕКТОРАЛДЫ ШҚҚЖ - ДЕ ЖАСЫРЫН ТӨБЕЛЕРІ БАР БАЙЕС ЖЕЛІСІН ҚОЛДАНУ	50
О.Ж. Мамырбаев, Д.О. Оралбекова, Қ. Әлімхан, М. Othman, Б. Жумажанов ҚАЗАҚША СӨЙЛЕУДІ ТАҢУ ҮШІН ГИБРИДТІ ИНТЕГРАЛДЫҚ МОДЕЛЬДЕРДІ ҚОЛДАНУ	58
А.Р. Оразаева, Д.А. Тусупов, С.В. Павлов, Г.Б. Абдикеримова СҮТ БЕЗІ ҚАТЕРЛІ ІСІГІНІҢ БИОМЕДИЦИНАЛЫҚ КЕСКІНДЕРІН СҮЗГІЛЕРДІ ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП ӨНДЕУ ТИІМДІЛІГІ	69
Ж.М. Ташенова, Э.Н. Нурлыбаева, Ж.К. Абдугулова, Ш.А. Аманжолова БҰЛТТЫҚ ЖҮЙЕДЕГІ ҚАУІПСІЗДІК ЖӘНЕ ШИФРЛАУ ӘДІСТЕРІ	77
О.А. Усагова, А.Ш. Баракова ҚАЗІРГІ ЗАМАНҒЫ ВЕБ-РЕСУРСТАРДЫ ҚОРҒАУ ЖҮЙЕЛЕРІН ТАЛДАУ	88
Г.С. Ыбығтаева, Н.Ф. Хайрова, К.Ж. Мухсина, Б.Ж. Жумажанов ЛИНГВИСТИКАЛЫҚ ОНТОЛОГИЯНЫ ҚОЛДАНУ ЖӘНЕ ҚАЛЫПТАСТЫРУ МӘСЕЛЕЛЕРІНЕ ШОЛУ	96
К.С. Чезимбаева, М.Ж. Батырова АҚЫЛДЫ ҮЙДІ МОДЕЛЬДЕУ ҮШІН ДЕРЕКТЕР ЖЕЛІСІНЕ (IOT) ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ӨСЕРІН ЗЕРТТЕУ	107

ФИЗИКА

Г.Б. Абдраманова, О. Имамбек, Ә.М. Нәдір, М.Б. Мырзабаева АРАЛЫҚ ЭНЕРГИЯЛАРДАҒЫ ПРОТОНДАРДЫҢ ^3He ЯДРОСЫНАН СЕРПІМДІ ШАШЫРАУЫ	117
А.Е. Амангаева, Г.Р. Сүбебекова, А.Т. Агишев, С.А. Хохлов АРАЛЫҚ ПЕРИОДАҒЫ V 1239 HERCULES КАТАКЛИЗМАЛЫҚ АЙНЫМАЛЫ ЖҰЛДЫЗЫНЫҢ ІРГЕЛІ ПАРАМЕТРЛЕРІН АНЫҚТАУ	124
Т.Н. Исмагамбетова, М.Т. Габдуллин, Т.С. Рамазанов ЕКІ КОМПОНЕНТТІ ТЫҒЫЗ СУТЕГІ ПЛАЗМАСЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ЖӘНЕ ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ	131

CONTENTS

COMPUTER SCIENCE

Zh.S. Abdimuratov, V.I. Dmitrichenko, M.A. Jetpisov, Y.N. Zhagyparov ADAPTATION OF ELECTRIC MOTOR RELAY PROTECTION WHEN DESIGNING DIGITAL SUBSTATIONS IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN	6
Zh. Avkurova, B. Abduraimova, S. Gnatyuk, L.M. Kydyralina MODEL OF PARAMETERS FOR EARLY DETECTION OF APT ATTACKS AND IDENTIFICATION OF SECURITY INTRUDERS IN CYBERSPACE.	17
T.S. Baisholanov, Zh.M. Alimzhanova, N. Baisholan, K.E. Kubayev, K.S. Baisholanova EVALUATION OF THE STRENGTH OF CRYPTOGRAPHIC CIPHERS USING CIPHERTEXT ANALYSIS.	26
Zh. Yessengaliyeva, K. Kassylkassova, A. Kassylkassova ANALYSIS OF MEDICAL APPLICATIONS DESIGNED SPECIFICALLY TO COMBAT COVID-19.	34
Zh.S. Ixebayeva, K. Jetpisov, Zh.M. Muratova DEVELOPMENT OF A CONCEPTUAL MODEL FOR AUTOMATIC VERIFICATION OF TECHNICAL DOCUMENTATION.	43
V.A. Lakhno, B.S. Akhmetov, M.B. Ydyryshbayeva, Sh. Sagyndykova APPLICATION OF A BAYESIAN NETWORK WITH HIDDEN VERTICES IN SECTORAL DSS FOR CYBERSECURITY TASKS.	50
O.Zh. Mamyrbayev, D.O. Oralbekova, K. Alimhan, M. Othman, B. Zhumazhanov APPLICATION OF HYBRID END TO END MODELS FOR KAZAKH SPEECH RECOGNITION.	58
A.R. Orazayeva, J.A. Tussupov, S.V. Pavlov, G.B. Abdikerimova EFFICIENCY OF PROCESSING BIOMEDICAL IMAGES OF BREAST CANCER USING FILTERS.	69
Zh. Tashenova, E. Nurlybaeva, Zh. Abdugulova, Sh. Amanzholova CLOUD SECURITY AND ENCRYPTION METHODS.	77
O.A. Ussatova, A.Sh. Barakova ANALYSIS OF MODERN WEB RESOURCE PROTECTION SYSTEMS.	88
G.S. Ybytayeva, N.F. Khairova, K.Zh. Mukhsina, B.Zh. Zhumazhanov PROBLEMS OF USING AND FORMING LINGUISTIC ONTOLOGIES: AN OVERVIEW	96
K.S. Chezimbayeva, M.Z. Batyrova STUDYING THE IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON THE DATA NETWORK (IOT) FOR SIMULATION OF A SMART HOME.	107

PHYSICS

G.B. Abdramanova, O. Imambek, F.B. Belisarova

ELASTIC PROTON SCATTERING BY ^3He NUCLEI AT INTERMEDIATE ENERGIES.117

A.E. Amantayeva, G.R. Subebekova, A.T. Agishev, S.A. Khokhlov

DETERMINATION OF THE FUNDAMENTAL PARAMETERS OF CATAclysmic
VARIABLE PERIOD GAP STAR V1239 HERCULES.124

T.N. Ismagambetova, M.T. Gabdullin, T.S. Ramazanov

STRUCTURAL AND THERMODYNAMIC PROPERTIES OF A TWO-COMPONENT
DENSE HYDROGEN PLASMA.131

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 described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

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

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:

www.nauka-nanrk.kz

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

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Редакторы: *М.С. Ахметова, А. Ботанқызы, Д.С. Аленов, Р.Ж. Мрзабаева*

Верстка на компьютере *Г.Д. Жадыранова*

Подписано в печать 10.03.2022.

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

9,0 п.л. Тираж 300. Заказ 1.