

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



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

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

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

N E W S

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

SERIES
PHYSICS AND INFORMATION TECHNOLOGY

2 (350)

APRIL – JUNE 2024

PUBLISHED SINCE JANUARY 1963
PUBLISHED 4 TIMES A YEAR

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»!**

БАС РЕДАКТОР:

МУТАНОВ 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**

БАС РЕДАКТОРДЫҢ ОРЫНБАСАРЫ:

МАМЫРБАЕВ Өркен Жұмажанұлы, ақпараттық жүйелер мамандығы бойынша философия докторы (Ph.D), ҚР БҒМ Ғылым комитеті «Ақпараттық және есептеуші технологиялар институты» РМК жауапты хатшысы (Алматы, Қазақстан), **Н=5**

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ:

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

БАЙГУНЧЕКОВ Жұмаділ Жанабайұлы, 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 Nemando, профессор, Ядролық ғылымдар институты (Мехико, Мексика), **Н=28**

ЖҮСІПОВ 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**

РАМАЗАНОВ Тілекқабұл 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 және информатика 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/>

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**

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

МАМЫРБАЕВ Оркен Жумажанович, доктор философии (PhD) по специальности Информационные системы, ответственный секретарь РГП «Института информационных и вычислительных технологий» Комитета науки МОН РК (Алматы, Казахстан), **Н=5**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

БАЙГУНЧЕКОВ Жумадил Жанабаевич, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Институт кибернетики и информационных технологий, кафедра прикладной механики и инженерной графики, Университет Сагпаева (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**

РАМАЗАНОВ Тлексабул 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 Жабагаевич, 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 и информатики».

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/>

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**

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

MAMYRBAYEV Orken Zhumazhanovich, Ph.D. in the specialty "Information systems, executive secretary of the RSE "Institute of Information and Computational Technologies", Committee of Science MES RK (Almaty, Kazakhstan) **H=5**

EDITORIAL BOARD:

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

BAYGUNCHEKOV Zhumadil Zhanabayevich, 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**

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 of physics and informatics.

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-ЖК**, 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/>

NEWS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES
ISSN 1991-346X
Volume 2. Number 350 (2024). 163–176
<https://doi.org/10.32014/2024.2518-1726.274>

УДК 004.056.5

© **T.K. Zhukabayeva**^{1,2}, **V.A. Desnitsky**³, **E.M. Mardenov**^{1,2,4*}, 2024,

¹ASTANA International Scientific Complex, Astana, Kazakhstan;

²L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan;

³Federal State Institution of Science “St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences” (St. Petersburg FITZ RAS), St. Petersburg, Russia;

⁴Astana International University, Astana, Kazakhstan.

E-mail: emardenov@gmail.com

A TECHNIQUE FOR COLLECTION, PREPROCESSING AND ANALYSIS OF DATA IN WIRELESS SENSOR NETWORKS

Zhukabayeva Tamara Kokenovna — PhD, assoc. Professor. International Science Complex “ASTANA”, L. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

E-mail: tamara_kokenovna@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0001-6345-5211>;

Desnitsky Vasily Alekseevich — Federal State Institution of Science «St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences», St. Petersburg, Russia

E-mail: vasily.desnitsky@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-3748-5414>;

Mardenov Yerik — International Science Complex “ASTANA”, Astana International University, Astana, Kazakhstan

E-mail: emardenov@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-9284-9797>.

Abstract. The article proposes a combined technique for collecting, preprocessing and analyzing data in wireless sensor networks (WSN) to solve the problems of detecting attacks on network devices and identifying anomalies that arise as a result of incorrect actions on the part of legitimate users of such networks and attackers. The technique determines the sequence of actions that need to be performed at the design and configuration stage, as well as at the operation stage of the WSN to detect attacks and anomalies in the WSN effectively. The main steps of the technique cover the procedures for collecting primary data from network sensors, filtering incoming data and their subsequent normalization. The analysis of collected and preprocessed data carried out within the framework of the technique includes aggregation and correlation of data based on comparison of data samples from various sources, as well as the development and testing of classifiers built on the basis of rules, statistics and machine learning methods to detect relevant types of attacks and anomalies. Testing of the proposed technique on the example of a fragment of a wireless sensor network in the field of a smart city with a simulation of a wormhole attack confirms the feasibility of the technique and the feasibility of its use in the development of promising information security tools. The proposed technique can be used in practice to develop secure wireless sensor networks in various application areas, as well as to improve the level of security of existing WSN. In particular, within the framework of smart city wireless sensor network infrastructures, the technique will improve the recall and precision of data collected from network nodes, which is necessary for effective detection of network level attacks in WSN.

Keywords: attack; detection; anomaly; modeling; technique

© Т.К. Жукабаева^{1,2}, В.А. Десницкий³, Е.М. Марденов^{1,2,4*}, 2024

¹ «АСТАНА» халықаралық ғылыми кешені, Астана, Қазақстан;

² Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан;

³ Ресей Ғылым Академиясының Санкт-Петербург федералды зерттеу орталығы федералды мемлекеттік ғылыми мекемесі, Санкт-Петербург, Ресей;

⁴ Астана халықаралық университеті, Астана, Қазақстан.

E-mail: emardenov@gmail.com

СЫМСЫЗ СЕНСОРЛЫҚ ЖЕЛІЛЕРДЕГІ ДЕРЕКТЕРДІ ЖИНАУ, ӨНДЕУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ ӘДІСТЕМЕСІ

Жукабаева Т.К. — PhD, қауымдастырылған профессор. «АСТАНА» халықаралық ғылыми кешені, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан
E-mail: tamara_kokenovna@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0001-6345-5211>;

Десницкий В.А. — Ресей Ғылым Академиясының Санкт-Петербург федералды зерттеу орталығы федералды мемлекеттік ғылыми мекемесі, Санкт-Петербург, Ресей
E-mail: vasily.desnitsky@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-3748-5414>;

Марденов Е.М. — «АСТАНА» халықаралық ғылыми кешені, Астана халықаралық университеті, Астана, Қазақстан

E-mail: emardenov@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-9284-9797>.

Аннотация. Мақалада желілік құрылғыларға шабуыл әсерін анықтау және осындай желілерді заңды пайдаланушылар мен зиянкестердің дұрыс емес әрекеттері нәтижесінде пайда болатын ауытқуларды анықтау мәселелерін шешу үшін сымсыз сенсорлық желілердегі (ССЖ) деректерді жинау, өңдеу және талдаудың біріктірілген әдістемесі ұсынылған. Әдістеме жобалау және баптау сатысында, сондай-ақ ССЖ шабуылдар мен ауытқуларды тиімді анықтауды жүзеге асыру үшін ССЖ пайдалану сатысында жасалуы керек әрекеттердің реттілігін анықтайды. Әдістemenің негізгі қадамдары желі сенсорларынан бастапқы деректерді жинау процедураларын, келіп түскен деректерді сүзуді және оларды кейіннен қалыпқа келтіруді қамтиды. Әдістеме шеңберінде жүргізілген жиналған және өңделген деректерді талдау әртүрлі көздерден алынған деректер үлгілерін салыстыру негізінде деректерді жинақтау мен корреляциялауды, сондай-ақ шабуылдар мен ауытқулардың өзекті түрлерін анықтау үшін машиналық оқыту классификаторларының ережелері, статистикасы мен әдістеріне негізделген әзірлеуді және тестілеуді қамтиды. Wormhole типіндегі шабуылды модельдеумен ақылды қала саласындағы сымсыз сенсорлық желінің үзіндісі мысалында ұсынылған әдістemenі сынау, әдістemenің орындылығын және ақпараттық қауіпсіздіктің перспективалық құралдарын әзірлеу кезінде оны қолданудың орындылығын растайды. Ұсынылған техниканы әр түрлі қолданбалы салаларда қорғалған сымсыз сенсорлық желілерді дамыту үшін, сондай-ақ қолданыстағы ССЖ қауіпсіздік деңгейін арттыру үшін қолдануға болады. Атап айтқанда, ақылды қаланың сымсыз сенсорлық желілерінің инфрақұрылымдары аясында әдістеме тораптардан жиналған деректердің толықтығы мен дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді, бұл ССЖ желілік деңгейдегі шабуылдарды тиімді анықтау үшін қажет.

Түйін сөздер: шабуыл, анықтау, аномалия, модельдеу, техника

© Т.К. Жукабаева^{1,2}, В.А. Десницкий³, Е.М. Марденов^{1,2,4*}, 2024

¹Международный научный комплекс «АСТАНА», Астана, Казахстан;

²Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан;

³Федеральное государственное учреждение науки «Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (СПб ФИЦ РАН), Санкт-Петербург, Россия;

⁴Международный университет Астана, Астана, Казахстан.

E-mail: emardenov@gmail.com

МЕТОДИКА СБОРА, ПРЕДОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ДАННЫХ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ

Жукабаева Т.К. — PhD, асоц. профессор, Международный научный комплекс «АСТАНА», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

E-mail: tamara_kokenovna@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0001-6345-5211>;

Десницкий В.А. — Федеральное государственное учреждение науки «Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (СПб ФИЦ РАН), Санкт-Петербург, Россия

E-mail: vasily.desnitsky@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-3748-5414>;

Марденов Е.М. — Международный научный комплекс «АСТАНА», Международный университет Астана, Астана, Казахстан

E-mail: emardenov@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-9284-9797>.

Аннотация. В статье предлагается комбинированная методика сбора, предобработки и анализа данных в беспроводных сенсорных сетях (БСС) для решения задач обнаружения атакующих воздействий на устройства сети и выявления аномалий, возникающих вследствие некорректных действий со стороны легитимных пользователей таких сетей и злоумышленников. Методика определяет последовательность действий, которые нужно совершить на стадии проектирования и настройки, а также на стадии эксплуатации БСС для осуществления эффективного обнаружения атак и аномалий в БСС. Основные шаги методики охватывают процедуры сбора первичных данных от сенсоров сети, фильтрацию поступающих данных и их последующую нормализацию. Проводимый в рамках методики анализ собранных и предобработанных данных включает агрегацию и корреляцию данных на основе сопоставления образцов данных из различных источников, а также разработку и тестирование построенных на основе правил, статистик и методов машинного обучения классификаторов для обнаружения актуальных видов атак и аномалий. Апробация предложенной методики на примере фрагмента беспроводной сенсорной сети в области умного города с моделирование атаки типа wormhole подтверждает выполнимость методики и целесообразность ее использования при разработке перспективных средств информационной безопасности. Предложенная методика может применяться на практике для разработки защищенных беспроводных сенсорных сетей в различных областях приложений, а также для повышения уровня защищенности существующих БСС. В частности, в рамках инфраструктур беспроводных сенсорных сетей умного города методика позволит повысить полноту и точность собираемых с узлов сети данных, что необходимо для эффективного обнаружения атак сетевого уровня в БСС.

Ключевые слова: атака, обнаружение, аномалия, моделирование, методика

Введение

В статье исследуются вопросы сбора, предобработки и анализа первичных данных в беспроводной сенсорной сети (БСС) как элементов предлагаемой комбинированной методики обнаружения атакующих воздействий на узлы БСС и аномалий, возникающих в процессе работы сети. Необходимость методики сбора, предобработки и анализа данных обуславливается сложностью процессов информационного обмена узлов, функционирующих в изменяющемся во времени окружении. Кроме того, потребность в построении такой методики определяется присущими БСС существенными ресурсными ограничениями, выполнимость которых непосредственно связана с обеспечением эффективного процесса сбора первичных данных в БСС. При этом к важным аспектам процессов сбора данных в БСС относятся полнота собираемых данных, в том числе выражаемая в достаточной временной детализации показаний сенсоров и данных с программно-аппаратных интерфейсов и внешних модулей, а также точность получаемых данных, в том числе отсутствие ошибок и пропущенных значений в собираемых образцах данных. Помимо этого, важным аспектом функционирования прикладных информационных сервисов БСС является обоснованность реализуемых в сети процедур агрегации данных, позволяющих, во-первых, снизить объемы собираемых в сети данных, что, как правило, является крайне важным в условиях значительных ограничений ресурсопотребления БСС, и, во-вторых, повысить достоверность собираемых данных, за счет отбрасывания случайных выбросов в показаниях сенсоров, аномальных значений и в ряде случаев злонамеренно модифицированных потенциальным атакующим данных. Все это подтверждает важность вопросов организации эффективных процессов сбора, предобработки и анализа данных в беспроводных сенсорных сетях, решаемых в настоящей статье.

Сбор данных в целом и связанные с ним технологические вызовы являются одной из важнейших проблем в современных беспроводных сенсорных сетях, решение которой необходимо для отправки данных от сенсоров на базовые станции, в том числе в целях корректного выполнения информационных сервисов по мониторингу данных от окружающей программно-аппаратной и физической инфраструктуры (Dubey, Agrawal, 2013). В частности, существующие методики сбора данных в БСС в различных практических областях требуют оперативного получения данных в режиме функционирования сети. Кроме того ставятся цели по максимально возможному уменьшению времени доставки показаний сенсоров и других видов сообщений, чтобы завершить процесс доставки до того, как какой-либо из промежуточных узлов, который должен использоваться при ретрансляции, не стал бы по какой-либо причине недоступным. Это обстоятельство становится особенно актуальным в случае параллельного множественного сбора данных на серии узлов в одноранговом сегменте сети и их передачи на базовую станцию ввиду того, что для синхронизации поступления значительного числа сообщений во избежание коллизий подобные случайные задержки вводятся намеренно в целях повышения надежности процесса коммуникации (Dubey, Agrawal, 2013). Вместе с тем, помимо минимизации задержек доставки, ставятся требования по минимизации энергетических затрат узлов в процессе сбора и передачи данных в БСС. Поэтому для организации эффективных процессов сбора данных в БСС обеспечивают баланс между выполнением требований на снижение дистанций передачи данных, снижение объема широковещательных пересылок в сети, снижение количества пересылаемых на базовую станцию сообщений в целом и равномерное распределение энергетической нагрузки по всем или большей части имеющихся узлов беспроводной сенсорной сети. Кроме того, в целях оптимизации потоков собираемых данных используют алгоритмы кластеризации узлов — для

первичного сбора данных в рамках некоторого кластера с последующей агрегацией собранных данных для последующей передачи далее по сети.

H. Xie et al. (2019) обосновывают важность решения вопросов сбора данных безопасности в БСС для обнаружения атак и аномалий с анализом возможностей по сбору данных на различных уровнях сетевого взаимодействия. G Thahniyath et al. предложили двухфазовую схему обеспечения целостности и конфиденциальности данных от сенсоров, передаваемых на базовую станцию для их агрегации. Это позволяет усложнить действия потенциального атакующего пытающегося скомпрометировать такие данные. Вместе с тем, несмотря на повышение уровня защищенности, такое решение создает дополнительный трафик и повышает коммуникационно-вычислительную нагрузку на сеть, что в свою очередь в качестве побочного эффекта способно снижать эффективность процесса сбора данных. В процессе сбора данных в БСС агрегация также может применяться для обеспечения сохранения уровня приватности данных (Rastogi et al., 2024).

Кроме того, использование итеративных фильтрационных алгоритмов позволяет непосредственно в процессе сбора данных от множества сенсорных узлов в сети накладывать каждому такому узлу определенный численный вес, характеризующий достоверность данных, предоставляемых этим узлом (Sowjanya Prasad, 2017). Это позволяет в процессе агрегации при объединении данных из различных узлов учитывать достоверность каждого фрагмента данных, получаемого агрегирующим узлом. Агрегация данных в процессе их сбора в БСС способствует также более ограниченному расходованию ресурсов хранения, энергоресурсов и коммуникационно-вычислительных ресурсов узлов сети (Sudheer Sujatha, 2023).

X. Jing et al. (2019) определяют разнородность данных, которые необходимо собирать в БСС для решения задач обнаружения атак. В частности, выделяют четыре разновидности собираемых данных: данные на уровне пакетов, данные уровня сетевых потоков, данные уровня соединений и данные уровня хостов, то есть узлов БСС. X. Jing et al. (2019) отмечают также необходимость учета требований на масштабируемость и настраиваемость процессов сбора данных в БСС.

В отличие от существующих работ в данной предметной области к элементам новизны предлагаемой методики относится децентрализованный характер сбора первичных данных БСС, определяемый на основе правил взаимодействия узлов сети, и параметров процесса сбора, настраиваемых в процессе конфигурирования инфраструктуры БСС. К отличиям можно отнести также комбинированный характер предлагаемой методики, выражаемый в совмещении различных видов данных, поступающих из разных источников с возможностью параллельного выполнения шагов методики. Предлагаемая методика ориентирована на выполнение персоналом, обслуживающим беспроводные сенсорные сети, функционирующие в рамках комплексных аппаратно-информационных архитектур, таких как умные города, умные заводы, умный транспорт. Предлагаемая методика определяет последовательность шагов, которые нужно совершить на стадии проектирования и настройки, а также на стадии эксплуатации БСС для эффективного обнаружения атак и аномалий. Методика апробируется на имеющейся программно-аппаратной реализации фрагмента БСС на основе протокола ZigBee с моделированием worm-hole-атаки в рамках уровня сетевого взаимодействия (Maheshwari et al., 2007).

Материалы и методы

Методика сбора, предобработки и анализа данных. Предлагаемая в работе методика направлена на организацию процессов сбора, предобработки и анализа данных и охватывает режимы проектирования, настройки и эксплуатации защищенной беспроводной сенсорной сети с реализацией функций своевременного и эффективного обнаружения актуальных атакующих воздействий на узлы сети

и аномалий, возникающих в процессе работы БСС. Методика предназначена для выполнения системным инженером — администратором, в обязанности которого входит развертывание инфраструктуры сети и компонентов ее информационной безопасности, администрирование БСС, а также выполнение операционно-аналитического контроля над текущими прикладными процессами. Методика применима в рамках инфраструктуры беспроводных сенсорных сетей умного города, которые с использованием узлов БСС позволяют предоставлять пользователям и обеспечивать работу специализированных цифровых информационных сервисов, включающих сбор данных о состоянии атмосферного воздуха города и мониторинг различных видов загрязненности воздуха в режиме близком к режиму реального времени. При этом существенная часть исходных данных получается непосредственно от сенсоров узлов и элементов инфраструктуры и устройств умного города в виде событий безопасности (Romano et al., 2012). Поддержка взаимодействия с пользователями, расположенными в рамках удаленных по отношению к БСС хостов осуществляется с использованием сети интернет. Методика схематично представлена на Рис. 1 и включает следующие основные стадии.



Рисунок 1. Основные стадии методики сбора, предобработки и анализа данных в беспроводных сенсорных сетях для решения задач обнаружения атак и аномалий

На стадии 1 производится определение модели актуальных атакующих воздействий, на обнаружение которых ориентирована данная методика. Данная стадия относится к этапу проектирования защищенной беспроводной сенсорной сети. Источниками входных данных стадии 1 являются перечень требований к компонентам информационной безопасности БСС, сформированных аналитически с учетом спецификаций программно-аппаратного обеспечения сети, целевого функционала информационных сервисов, разворачиваемых в рамках сети, а также различных функциональных и нефункциональных (ресурсных) ограничений. Примером подобного требования является необходимость отслеживания фактического временного распределения значений сенсоров в сети и выявление значений-выбросов (аномальных показаний сенсоров) согласно установленному нормальному распределению по правилу трех сигм. К выходным данным

данной стадии относятся перечень алгоритмов, которые необходимо реализовать для осуществления анализа и мониторинга информационной безопасности в режиме эксплуатации БСС. Шаги, выполняемые на стадии 1, осуществляются с применением методов системного анализа и аналитического моделирования.

Стадия 2 представляет шаги по децентрализованному сбору исходных данных о сети и входящих в нее устройств. Сбор данных включает в первую очередь получение данных, характеризующих изменяемый в процессе работы состав узлов сети, структуру сетевой топологии узлов, характеристики качества беспроводного сигнала с использованием значений LQI (Auza et al., 2014), роли узлов (оконечный узел, маршрутизатор, координатор). Также собираются логи событий, происходящих на узлах, включающие, например, события добавления нового узла в сеть, а также системные команды сетевого протокола и их атрибуты, такие как команда идентификации соседних узлов, например при помощи AT-команды ND (Network Discovery) протокола ZigBee. Помимо этого, собираться могут логи какого-либо программного обеспечения, функционирующего на узлах БСС, например, в логи операционной системы Ubuntu, установленной на одноплатном компьютере Raspberry Pi узла сети. Кроме того, в заданных узлах сети собирается трафик, входящий трафик узла и исходящий трафик (Nguyen et al., 2021).

Отметим, что в общем случае сбор данных о структуре и составе сети происходит последовательно, в режиме накопления и обновления текущей информации при условии, что БСС является самоорганизующейся и динамически формируемой. В зависимости от текущего пространственного расположения узлов сети, режимов их работы и загруженности беспроводных каналов между узлами, подверженными изменениям оказываются информационные сущности, отвечающие, как за сетевые узлы и их атрибуты, так и за коммуникационные связи между ними. При этом адреса узлов и их роли, как правило, считаются неизменными в процессе функционирования БСС. В этом случае процесс сбора данных представляет графовую информационную модель, инициализированную в момент старта процесса сбора и обновляемую динамически по мере дальнейшего поступления первичных данных. Входными данными данной стадии методики являются сведения о текущей конфигурации сети, тогда как выход данной стадии включает перечни разнородных логов, информационных событий и сетевого трафика, снимаемого на узлах БСС.

Собираемые в сети данные, представляющие системные команды, записи показаний сенсоров и другие события, происходящие на узлах БСС, а также элементы сетевого трафика регистрируются в полноформатном виде в виде журналов логов, в «сыром», необработанном виде на узлах для последующей их преобразования. При этом для каждой разновидности данных может создаваться отдельный журнал записей логов. Например, заводится реестр записей событий, связанных изменением текущей, фактической пропускной способностью имеющихся коммуникационных каналов в сети.

В общем случае деление на экземпляры журналов может производиться по хостам — узлам-источникам событий, узлам-получателям, группам хостов или по типу событий. Для каждого искомого вида атак может быть свой журнал событий, к примеру, события, формирующие злонамеренный трафик flooding-атаки со стороны некоторой группы не доверенных узлов сети. При этом некоторое событие, как например, событие подключение нового узла к сети, может дублироваться одновременно в нескольких экземплярах журналов. Отметим, что данные могут собираться на каждом узле сети, обладающем одним или несколькими аппаратными сенсорами или элементами интерфейсов взаимодействия с пользователями, а также на узлах, формирующих какие-либо системные или прикладные данные, в

том числе информационные события и сопряженную с ними информацию.

Стадия 3 включает предобработку данных, собранных и хранящихся на узлах сети. В целом предобработка может применяться для унификации представления данных – приведения данных к некоторому единому формату. Данные могут подвергаться нормализации и стандартизации. Данные также могут приводиться к одинаковым или сходным единицам измерения, одинаковому количеству знаков в дробных десятичных значениях. При этом стандартизация позволяет преобразовать данные в числовую выборку со средним значением равным 0, тогда как нормализация представляет преобразование в интервал $(0,1)$ с сохранением порядка.

Также предобработка на этой стадии применяется для сокращения размерности данных путем отбрасывания наименее значимых атрибутов, в том числе с помощью метода главных компонент. Возможно также сокращение объемов данных путем фильтрации части образцов данных, к примеру, повторяющихся во времени или, по факту, представляющих дублирование данных, полученных из разных источников. Подобная агрегация может производиться на основе правил обработки данных, задаваемых экспертно, исходя из семантики протекающих в сети процессов, происходящих событий и фактически собираемых образцов данных. Сокращение объемов хранящихся данных также может производиться за счет частичного или полного удаления устаревших данных, что определяется, во-первых, их временными метками и, во-вторых, их разновидностью и объемами доступных данных данного вида.

Тем не менее, отметим, что в общем случае агрегация данных не всегда приводит к фактическому уменьшению размера преобразуемых данных. В частности, формирование временных рядов на основе числовых последовательностей данных со сглаживанием шума в данных, отделением каких-либо краткосрочных флуктуаций, основываясь на различных схемах формирования таких рядов, может приводить к значительному увеличению вариативности временных рядов, которые необходимы для последующего анализа (Matar et al., 2023). Примером могут служить временные ряды с минимальными, средними, максимальными, медианными и др. характеристиками целевого показателя, сетевой активности беспроводных каналов узлов БСС за различные установленные промежутки времени функционирования узлов сети. При этом уменьшение размера анализируемых данных перспективно также при помощи использования корреляционных правил, сформулированных экспертно, которые позволяют в автоматическом режиме связывать отдельные события между собой, способствуя концентрированию значимой информации в рамках формируемых инцидентов информационной безопасности сети.

Стадия предобработки данных включает также шаги, направленные на исправление возможных ошибок и сбоев, в том числе ошибочно пропущенных значений сенсоров, некорректно сформированных или полученных пакетов данных, которые могут подвергаться преобразованиям в процессе передачи между узлами. Это может проводиться, в том числе за счет намеренной избыточности, закладываемой в модель данных БСС.

Входные данные для данной стадии представляют сырые, необработанные первичные данные в виде образцов данных логов, событий разного формата, прикладных и системных событий с явной привязкой ко времени и без нее, а также записи сетевого трафика. Входные данные собираются на различных узлах сети с возможностью как локальной предобработки непосредственно в местах сбора данных, так и преобразования на промежуточных узлах в сети — узлах коллекторах данных, или же на узлах, предназначенных для проведения анализа данных и обнаружения атакующих воздействий и различных аномалий. Выходными

данными являются упорядоченные, структурированные данные, которые могут сохраняться в виде CSV-файлов для последующего хранения и обработки.

Стадия 4 представляет стадию анализа данных, охватывающую использование, во-первых, статистических методов анализа собранных и предварительно обработанных данных, во-вторых, методов, построенных на базе правил, формируемых экспертно, и, в-третьих, методов интеллектуального анализа данных. К последнему классу методов относятся, в том числе методы кластеризации, одноклассовой классификации, автоэнкодеры и некоторые другие виды нейронных сетей, реализации которых применяются в качестве программных средств обнаружения аномалий. Для обнаружения атакующих воздействий перспективным является применение методов машинного обучения с учителем на основе бинарных и многоклассовых классификаторов в условиях наличия достаточных данных для проведения такого обучения с высоким качеством разметки обучающей и тестовой выборок данных. К входным данным стадии 4 можно отнести всю совокупность данных сети, собираемых и обрабатываемых устройствами сети, а также модель атак и аномалий, сформированную на стадии 1, тогда как к выходным данным относятся в первую очередь последовательность событий и инцидентов информационной безопасности, описывающих найденные атаки и аномалии. В частности, в режиме эксплуатации на выходе выдаются перечни атак *attack(type, time, {nodes})* и аномалий *anomaly(type, time, {nodes})* с указанием типа конкретной атаки или аномалии, временной меткой ее регистрации, а также перечнем узлов БСС, вовлеченных в атаку или формирующих соответствующую аномалию.

К отличительным особенностям методики, определяющим ее новизну, можно отнести ее комбинированный характер, выражаемый в совмещении различных видов данных, поступающих из разных источников – узлов сети, данных о характеристиках коммуникационных каналов, агрегированных статистических данных по группам узлов и прикладным процессам и др. с возможностью параллельного выполнения шагов методики. Кроме того, комбинирование появляется в возможности использования результатов работы процедур обнаружения атак и аномалий в качестве дополняющих исходных данных непосредственно в рамках последующих временных циклов выполнения методики. Это позволяет, в частности итеративно совершенствовать механизмы обнаружения инцидентов информационной безопасности, анализируя не только текущие выборки поступающих и обработанных данных, исторические первичные данные и их агрегированные представления, но также и результаты предыдущих итераций работы методики, в том числе, используя сведения о предыдущих найденных атаках и аномалиях.

К отличиям методики можно отнести также децентрализованный характер сбора данных, определяемый на основе правил взаимодействия узлов сети, и параметрах процесса сбора, настраиваемых в процессе конфигурирования инфраструктуры БСС.

Результаты и обсуждение.

Применение методики и дискуссия. Предложенная методика опробована на фрагменте программно-аппаратного прототипа беспроводной сенсорной сети, построенном на базе беспроводных коммуникационных интерфейсов XBee серии 2, микроконтроллеров Arduino Uno/Mega 2560 и одноплатного компьютера Raspberry Pi 4B, работающего под управлением операционной системы Ubuntu (Рис. 2).

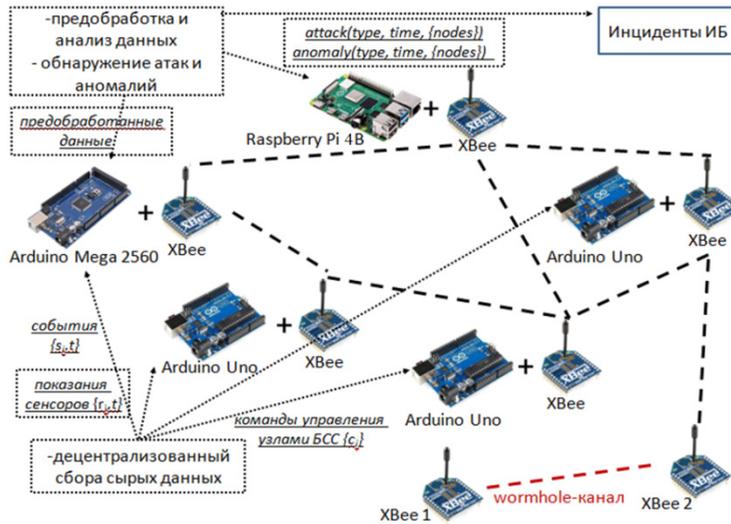


Рисунок 2. Применение методики сбора, предобработки и анализа данных в беспроводных сенсорных сетях для решения задач обнаружения атак и аномалий

Сетевая коммуникация в БСС осуществляется по протоколу ZigBee, поддерживаемому беспроводными интерфейсами XBee, работающими в связке с микроконтроллерами узлов и одноплатным компьютером. На конечные узлы, работающие на базе микроконтроллеров Arduino, накладываются обязанности по сбору первичных данных от узлов БСС. В общем случае собираемые децентрализованно данные подвергаются базовым процедурам предобработки, включающим фильтрацию, в рамках микроконтроллера Arduino Mega, тогда как на Raspberry Pi, поддерживающий возможность работы с библиотеками интеллектуального анализа данных, таких как Scikit-Learn и Keras, возлагаются функции классификации предобработанных данных для обнаружения атак и аномалий.

В условиях эксперимента с использованием данного прототипа БСС (Жукабаева и др., 2023) производится моделирование wormhole-атаки, позволяющее осуществлять несанкционированную селективную пересылку и прослушивание данных между узлами сети с использованием уязвимостей процесса маршрутизации в сети. Специализированный коммуникационный радиоканал между двумя узлами, скомпрометированными атакующим и используемые в процессе моделирования wormhole-атаки, схематично изображены красной штриховой линией на рис. 2. В контексте решения задач обнаружения wormhole-атаки на каждом конечном узле БСС производится сбор следующих видов событий:

- событий, связанных с формированием и изменением сетевой топологии БСС;
- событий отправки, получения и ретрансляции служебных и прикладных сообщений с использованием данного узла;
- событий окружения, содержащих показания аппаратных сенсоров, пользовательских интерфейсов и данные, снимаемые с шин доступа к каким-либо внешним модулям (если такие имеются).

В Таблице 1 приведены примеры для каждой разновидности событий, собираемых в рамках предложенной методики, на конечных узлах БСС для решения задачи обнаружения атак и аномалий на примере обнаружения атаки типа wormhole.

Table 1 – События, собираемые на конечных узлах БСС для решения задачи обнаружения на примере wormhole-атаки

Разновидность событий	Примеры данных
события сетевой топологии	– событие добавления коммуникационного канала связи с новым узлом БСС – событие изменения качества связи (показателя LQI) имеющегося коммуникационного канала
события передачи сообщений	– событие ретрансляции служебной AT-команды ND идентификации сетевой топологии – событие отправки подтверждающего сообщения на получение команды настройки узла
события окружения	– данные вводимые пользователем через модуль ввода-вывода, интегрированного в узел БСС – показания сенсора геопозиции узла

Кроме того, помимо указанных видов данных, на узле-координаторе БСС в рамках Raspberry Pi производится сбор логов операционной систем, включая

- события создания и завершения процессов;
- события открытия, закрытия и использования сетевых сокетов;
- события файловой системы;
- события изменения настроек компонентов операционной системы;
- события, связанные с работой периферийных устройств;
- различные пользовательские события.

Собираемые децентрализованно на узлах БСС первичные данные проходят стадию предобработки, после чего в рамках узла-контролера на Raspberry Pi формируются кортежи их признаков, соответствующих заданному признаковому пространству программного классификатора, распознающего заданный вид атак или аномалий. В частности, для wormhole-атак к наиболее значимым признакам относятся статистические данные маршрутов сообщений, значения сетевой интенсивности каждого отдельно узла, а также данные, характеризующие относительные или абсолютные расстояния между узлами и качество сигнала коммуникационных каналов.

В рамках проводимой апробации методики обнаружения wormhole-атаки производится с использованием следующих методов машинного обучения: дерева решений, машины опорных векторов (SVM) и метода k-ближайших соседей. При этом в качестве значений гипер-параметров этих методов используются значения по умолчанию, а также значения, формируемые на основе механизма Grid-search. Разметка собранных и предобработанных с использованием программно-аппаратного прототипа данных проводится с учетом, во-первых, меток времени, позволяющих идентифицировать моменты начала и завершения смоделированной атаки и, во-вторых, физических адресов беспроводных коммуникационных модулей XBee. Полученные значения точности и полноты классификации для всех трех указанных вариантов машинного обучения на имеющийся тестовой выборке превышают 0,95 и подтверждают выполнимость методики и перспективность ее использования на практике, в частности, в рамках сценариев функционирования беспроводных сенсорных сетей умного города.

К ограничениям предлагаемой методики можно отнести требование на выполнение процедур децентрализованного сбора и предобработки данных

о функционировании сети. Отметим, что в настоящий момент методика не учитывает возможные технические ошибки и ненамеренные сбои в работе БСС, а также не реализует сопряженную с этим необходимость контроля и повторной пересылки не доставленных адресату сообщений. Кроме того, отметим, организационно-техническую сложность формирования достоверной разметки данных, на которых проводится обучение с учителем. В частности, в общем случае это касается разделения логов событий на нормальные и смешанные – то есть данные, включающие, как данные нормы, так и атаки. В особенности подобная сложность может возникать при одновременном выполнении сценариев нескольких различных моделируемых атак одновременно. Последнее допущение представляется особенно актуальным, поскольку в отсутствии такого обучения показатели качества комбинированных атак в подобных ситуациях на практике могут значительно снизиться. Вместе с тем, заметим, что в отсутствии или в условиях недостаточно качественной разметки анализируемых данных все еще остается возможность обнаружения нарушений информационной безопасности при помощи методов обнаружения аномалий, таких как, методы кластеризации, метод на основе правила трех сигм, автоэнкодеры, метод распознавания статистических выбросов, методы одноклассовой классификации, которые не требуют наличия разметки исходных данных.

Для повышения эффективности методики, выражаемой в соблюдении баланса между объемами собираемых, обрабатываемых, анализируемых данных с узлов БСС и потребностью в аппаратных коммуникационно-вычислительных ресурсах оборудования узлов сети, возможно снижение как объемов собираемых и обрабатываемых данных, так и снижение размерности признакового пространства, используемого в процессе контролируемого или неконтролируемого машинного обучения для выявления атак и аномалий. В частности, для этого могут применяться различные методы объяснимого машинного обучения, позволяющие формировать и отбирать лишь те информационные признаки атак, которые вносят наиболее значимый вклад в определение целевой переменной в процессе классификации. Для этих целей возможно применять ранжирование признаков для каждого рассматриваемого вида атак, при котором возможно непосредственно вычислять относительный коэффициент важности каждого признака при помощи специализированных встроенных функций библиотеки Scikit-Learn. Возможна также схема, при которой для ранжирования информационных признаков проводится серия экспериментов по тестированию классификатора и сравнения результатов его работы на признаковом пространстве с исключением заданного признака. Тем самым, оценке поддается негативный эффект отсутствия рассматриваемого признака на целевую переменную. В случае визуализируемых методов машинного обучения с учителем, таких как деревья решений, для ранжирования признаков по степени их важности возможно применение методов визуализации, позволяющих получить такую оценку экспертно. Кроме того возможно применение метода LIME, включающего намеренное искажение данных и внесение в них информационного шума, а также метода SHAP, основанного на понятии коалиции информационных признаков с использованием аппарата теории игр.

Заключение

В работе предложена методика сбора, предобработки и анализа данных в беспроводных сенсорных сетях, которая может использоваться для организации программных средств обнаружения атакующих воздействий на БСС и аномалий в данных от узлов сети. Методика апробируется на фрагменте программно-аппаратного прототипа БСС, ориентированном на обеспечение работы сервисов умного города, в том числе с моделированием атаки типа wormhole, оперирующей

на сетевом уровне БСС. В рамках экспериментальной части работы подтверждена выполнимость предлагаемой методики на практике. Кроме того, проведен анализ преимуществ, ограничений методики, а также возможных направлений ее улучшения, в том числе за счет применения средств объяснимого машинного обучения, что будет способствовать снижению размерности признаков пространств, и как следствие, уменьшению вычислительных расходов узлов сети, выделяемых на работу компонентов обеспечения информационной безопасности.

В качестве направлений будущих исследований планируются дальнейшее тестирование предложенной методики на отличающихся наборах исходных данных, включающих логи моделируемых сценариев атак на узлы БСС, а также проведение экспериментов с механизмами объяснимого машинного обучения для повышения показателей эффективности процессов обнаружения атак и аномалий. Настоящая работа сотрудниками Международного научного комплекса «Астана» проводится при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (Грант № AP19680345).

ЛИТЕРАТУРА

Auza J.M.N., Branco A. & Boisson de Marca J.R. (2014). Experimental evaluation of energy efficient algorithms for WSN using variable transmission powers, Proceedings of 2014 IEEE 9th IberoAmerican Congress on Sensors, Bogota, Colombia. — Pp. 1–4. — DOI: 10.1109/IBERSENSOR.2014.6995507. ND (Node Discovery. — URL: https://www.digi.com/resources/documentation/Digidocs/90002002/Content/Reference/r_cmd_ND.htm

Dubey S. & Agrawal C. (2013). A survey of data collection techniques in wireless sensor network. — *International Journal of Advances in Engineering & Technology*. — 6/4. — 1664–1673.

Jing X., Yan Z. & Pedrycz W. (2019). Security Data Collection and Data Analytics in the Internet: A Survey, IEEE Communications Surveys & Tutorials. — 21/1. — 586–618. — DOI: 10.1109/COMST.2018.2863942.

Maheshwari R., Gao J. & Das S.R. (2007). Detecting Wormhole Attacks in Wireless Networks Using Connectivity Information. Proceedings of 26th IEEE International Conference on Computer Communications. — IEEE INFOCOM 2007. Anchorage, AK. — USA. — Pp. 107–115. — DOI: 10.1109/INFCOM.2007.21.

Matar M., Xia T., Huguenard K., Huston D. & Wshah S. (2023) Multi-Head Attention based Bi-LSTM for Anomaly Detection in Multivariate Time-Series of WSN. Proceedings of 2023 IEEE 5th International Conference on Artificial Intelligence Circuits and Systems (AICAS), Hangzhou, China. — Pp. 1–5. — DOI: 10.1109/AICAS57966.2023.10168670.

Nguyen V.C., Cobo A., Van Nam B., Dang A., Le T., Nguyen H. & Nguyen M. (2021). ZigBee based data collection in wireless sensor networks. *International Journal of Informatics and Communication Technology (IJ-ICT)*. — 10/3. — 211–224. — DOI: 10.11591/ijict.v10i3. — Pp. 211–224.

Thahniyath G., Mishra P. & Moorthy S.R. (2022). Two phase secure data collection technique for wireless sensor networks (2022), Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. — 26/1. — Pp. 512–520. — DOI: 10.11591/ijeecs.v26.i1. — Pp. 512–520.

Rastogi A., Rastogi H., Rastogi Y. & Dubey D. (2024). Privacy-Preserving Data Aggregation Techniques for Enhanced Efficiency and Security in Wireless Sensor — Networks: A Comprehensive Analysis and Evaluation. — ArXiv preprint arXiv:2403.20120.

Romano L., D'Antonio S., Formicola V. & Coppolino L. (2012). Protecting the WSN Zones of a Critical Infrastructure via Enhanced SIEM Technology. Proceedings of International Conference on Computer Safety, Reliability, and Security (SAFECOMP 2012). Lecture Notes in Computer Science. — Vol 7613. — Springer, Berlin, Heidelberg. — Pp. 222–234. — DOI: 10.1007/978-3-642-33675-1_20.

Sowjanya K. & Prasad A.H. (2017). Secure Data Collection Technique for Wireless Sensor Networks Against Security Threats. *International Journal of Advanced Technology and Innovative Research*, — 9/2. — Pp. 227–231.

Sudheer B.N. & Sujatha K. (2023). A Brief Survey on Data Aggregation and Data Compression Models using Blockchain Model in Wireless Sensor Network. Proceedings of 2023 International Conference on Innovative Data Communication Technologies and Application (ICIDCA). — Uttarakhand, India. — Pp. 406–413. — DOI: 10.1109/ICIDCA56705.2023.10100009.

Xie H., Yan Z., Yao Z. & Atiquzzaman M. (2019). Data Collection for Security Measurement in Wireless Sensor — Networks: A Survey. — IEEE Internet of Things Journal, — 6/2. — 2205–2224. — DOI: 10.1109/JIOT.2018.2883403.

Zhukabayeva T.K., Desnitsky V.A. & Mardenov E.M. (2023). Approach to simulation modeling of wire-

less sensor networks for attack detection. — *Vestnik of St. Petersburg State University of Technology and Design Series 1.* — 4. — Pp. 28–33. — DOI 10.46418/2079-8199_2023_4_6 (in Rus).
LIME и SHAP. URL: <https://habr.com/ru/companies/otus/articles/779430/>

МАЗМҰНЫ

Н. Абдразақұлы, Л. Черикбаева, Н. Мұқажанов, Ж. Алибиева АНСАМБЛЬДІК ТӘСІЛ НЕГІЗІНДЕ КЕСКІНДІ ӨНДЕУДІҢ ТИІМДІ АЛГОРИТМІН ҚҰРУ.....	7
Б.Т Абыканова, А.А. Таугенбаева, А.Г. Амангосова, Г.Т. Бекова, А.Ж. Ақматбекова ӨЗДІГІНЕН БІЛІМ АЛУШЫЛАРДЫ ЖЕТІЛДІРУ МЕН ДАМУДАҒЫ ИНТЕРАКТИВТІ БІЛІМ БЕРУ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ.....	30
Ж.Ж. Ажибекова, Д.И. Усипбекова, Б.Н. Джаханова, К. Жыланбаева, Ә.Н. Тұрсун МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІМЕН ҒАРЫШТЫҚ КЕСКІНДЕРДЕН БҰЛТТАР МЕН ТҰМАНДЫҚТАРДЫ ЖОЮ.....	43
М. Айтимов, Г.Б. Абдикеримова, К.К. Макулов, Б.А. Досжанов, Р.У. Альменаева МАШИНАЛЫҚ ЖӘНЕ ТЕРЕҢ ОҚЫТУ АЛГОРИТМДЕРІ АРҚЫЛЫ МӘТІННІҢ ЭМОЦИОНАЛДЫҚ ЖАҒДАЙЫН ЗЕРТТЕУ.....	57
А.Т. Ақынбекова, А.А. Муханова, Salah Al-Majeed, Г.С. Алтаева АЙМАҚТЫ ДАМУДАҒЫ ӨЛЕУМЕТТІК ПРОЦЕСТЕРІН БАҒАЛАУ ҮШІН ШЕШІМДЕР ҚАБЫЛДАУДЫҢ БҰЛДЫР МОДЕЛЬДЕРІ.....	69
К.М. Алдабергенова, А.Б. Касекеева, М.Ж. Айтимов, К.К. Дауренбеков, Т.Н. Есикова АГРОӨНЕРКӘСІП КЕШЕНІНІҢ ЛОГИСТИКАСЫНЫҢ МАРКЕТИНГТІК БАСҚАРУЫН ЖЕТІЛДІРУ.....	85
А.Е. Әбжанова, А.А. Быков, С.К. Сагнаева, Е.Ә. Әбжанов, Д.И. Суржик ЖЕР АСТЫ ЖЕР АСТЫ СУЛАРЫН ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП, ТОПЫРАҚТЫ МОДЕЛЬДЕУДІ ОҢТАЙЛАНДЫРУ.....	96
А.М. Бисенгалиева, А.У. Исембаева, Т.К. Душаева, Н.М. Алмабаева, Г.О. Ильясова СЕМАНТИКАЛЫҚ ДЕРЕКТЕРДІ ТАЛДАУ АРҚЫЛЫ КІЛТ СӨЗДЕРДІ ҚАМТУ.....	108
А.Х. Давлетова, Н.Н. Оразова, Ж.Б. Сайлау, Д.Н. Қурмангалиева, Г.Л. Абдугалимов БАСТАУЫШ СЫНЫП ОҚУШЫЛАРЫН ХАЛЫҚАРАЛЫҚ PIRLS ЗЕРТТЕУІНЕ АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР АРҚЫЛЫ ДАЯРЛАУ ЖОЛДАРЫ.....	120
Г. Есмагамбетова, А. Кубигенова, А. Ақтаева, И. Цэрэн-Онолт, М. Есмагамбет КВАНТТЫҚ ЕСЕПТЕУЛЕРГЕ НЕГІЗДЕЛГЕН БИОМЕТРИЯЛЫҚ ДЕРЕКТЕРДІ ҚОРҒАУ ӘДІСТЕРІ.....	137
Г.Қ. Ешмұрат, Л.С. Қанбаева, МАТЕМАТИКАЛЫҚ ҮРЕЙ ЖӘНЕ ОНЫҢ БОЛАШАҚ МАТЕМАТИКА ПӘНІ МҰҒАЛІМДЕРІНІҢ МАНСАБЫНА ӨСЕРІ.....	149
Т.К. Жукабаева, В.А. Десницкий, Е.М. Марденюк СЫМСЫЗ СЕНСОРЛЫҚ ЖЕЛІЛЕРДЕГІ ДЕРЕКТЕРДІ ЖИНАУ, ӨНДЕУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ ӘДІСТ ЕМЕСІ.....	163
А.М. Джумагалиева, А.Ә. Шекербек, Ж.Ж. Хамитова, М. Свобода, С.А. Қалдар АДАПТИВТІ АНОМАЛИЯНЫ АНЫҚТАУ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ КИБЕРҚАУІПСІЗДІГІН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ АРҚЫЛЫ АРТТЫРУ.....	177

А.А. Исмаилова, Г.Е. Мырзабекова, М.Ж. Базарова, Г.Ж. Нурова, Г.Т. Азиева ТЕРЕҢ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІН ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ ҚАРЖЫ НАРЫҒЫНДАҒЫ БАҒАЛАРДЫ БОЛЖАУ.....	190
К. Кошанова, Сапарбайқызы, К.Е. Жангазакова, А.С. Сағынбай, Э. Куриэль-Марин STEM-ДЕ БІЛІМ БЕРУ ӘЛЕУЕТІН БАРЫНША ПАЙДАЛАНУ: ОҚУ НӘТИЖЕЛЕРІН ЖАҚСARTУҒА ҮЛЕС, ҚИЫНДЫҚТАР ЖӘНЕ СТРАТЕГИЯЛАР.....	205
А.А. Мұханова, С.К. Кожукаева, Л.Г. Рзаева, Ж.Е. Доумчариева, У.Т. Махажанова МЕДИЦИНАЛЫҚ БЕЙНЕЛЕР НЕГІЗІНДЕ КӨЗ ТОРЫНЫҢ АУРУЛАРЫН ДИАГНОСТИКАЛАУ ҮШІН ТЕРЕҢ ОҚЫТУ МОДЕЛЬДЕРІН ҚОЛДАНУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ..	218
Ә.Ж. Омуртаева, У.Т. Махажанова, М.А. Кантуреева, Г. Ускенбаева, Т.Н. Есикова БІЛІМ БЕРУ НЕГІЗІНДЕ АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ КӘСІПОРЫНДАРЫНЫҢ ИНВЕСТИЦИЯЛЫҚ ТАРТЫМДЫЛЫҒЫН БАҒАЛАУ ӘДІСТЕМЕСІ.....	235
А.Р. Оразаева, Д.А. Тусупов, В. Войчик, А.К. Шайханова, Г.Б. Бекешова МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІМЕН СҮТ БЕЗІ ПАТОЛОГИЯСЫН ТИІМДІ АНЫҚТАУ...	246
Б.Б. Оразбаев, Б.У. Асанова, Ж.Ж. Молдашева, Ж.Е. Шангитова АЙҚЫНСЫЗДЫҚТА КОКСТЕУ РЕАКТОРЛАРЫНЫҢ ЖҰМЫС РЕЖИМДЕРІН КӨПКРИТЕРИЙЛІК ОПТИМИЗАЦИЯЛАУ ЕСЕБІНІҢ ҚОЙЫЛЫМЫ МЕН ОНЫ ШЕШУ ЭВРИСТИКАЛЫҚ ТӘСІЛІ.....	258
Г.А. Салтанова, К.Б. Багитова, Г.А. Дашева, М.Е. Шангитова, Э.Г. Гайсина УНИВЕРСИТЕТ КІТАПХАНАСЫНЫҢ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕСІН ӨЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ЕНГІЗУ: АҚПАРАТТЫҚ РЕСУРСТАРДЫ БАСҚАРУДЫ ОҢТАЙЛАНДЫРУ ЖӘНЕ ПАЙДАЛАНУШЫЛАРҒА ТИІМДІ ҚЫЗМЕТ КӨРСЕТУ.....	269
Л.Т. Салыбек, К.Н. Оразбаева, В.Е. Махатова, Л.Т. Қурмангазиева, Б.Е. Утенова МҰНАЙДЫ АЛҒАШҚЫ ӨНДЕУ ҚОНДЫРҒЫСЫ АТМОСФЕРАЛЫҚ БЛОГЫНЫҢ МОДЕЛЬДЕРІН ТҮРЛІ СИПАТТАҒЫ ҚОЛЖЕТІМДІ АҚПАРАТ НЕГІЗІНДЕ ҚҰРУ.....	285
А. Сейтенов, Т. Жукабаева, С. Ал-Маджид ЭЛЕКТРОНДЫҚ МЕДИЦИНАЛЫҚ ТӨЛҚҰЖАТЫ МЕН ТЕЛЕМЕДИЦИНА АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕСІНІҢ МОДЕЛІН ЖОБАЛАУ.....	297
Г.Б. Турмуханова, А.А. Таутенбаева, Г.Т. Бекова, С.Б. Нугуманов, Я. Култан ӘЛЕУМЕТТІК МЕДИА ҚАУЫМДАСТЫҚТАРЫНДАҒЫ ӨЗАРА ІС-ҚИМЫЛ АРҚЫЛЫ УНИВЕРСИТЕТ СТУДЕНТТЕРІНІҢ ЖҰМСАҚ ДАҒДЫЛАРЫН ҚАЛЫПТАСТЫРУ.....	310
А.С. Тынықұлова, А.В. Фаддеев, А.А. Мұханова, А.У. Искалиева, Д.Б. Абулкасова БЕЛГІСІЗДІК ЖАҒДАЙЫНДА ТӘУЕКЕЛДЕРДІ БАСҚАРУДЫ ТАЛДАУ ЖӘНЕ ОҢТАЙЛАНДЫРУ: ЗАМАНАУИ ӘДІСТЕР МЕН ТЕХНОЛОГИЯЛАР.....	325
Ж.Р. Умарова, Г.Ж. Ельбергенава, Н.С. Жуматаев, А.Х. Махатова, С.Б. Ботаева МЕЗОСКОПИЯ ДЕҢГЕЙІНДЕГІ МОЛЕКУЛАЛЫҚ ЕЛЕКТЕРДЕГІ ЗАТ ТАСЫМАЛУЫН ЕСЕПТЕУ АЛГОРИТМІНІҢ ЗИЯЛДЫ ТАЛДАУЫ.....	336

СОДЕРЖАНИЕ

Н. Абдразакулы, Л. Черикбаева, Н. Мукажанов, Ж. Алибиева СОЗДАНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ АНСАМБЛЕВОГО ПОДХОДА.....	7
Б.Т. Абыканова, А.А. Таугенбаева, А.Г. Амангосова, Г.Т. Бекова, А.Ж. Акматбекова ИНТЕРАКТИВНЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ И РАЗВИТИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ.....	30
Ж.Ж. Ажибекова, Д.И. Усипбекова, Б.Н. Джаханова, К. Жыланбаева, Ә.Н. Түрсун УДАЛЕНИЯ ОБЛАКОВ И ТУМАННОСТЕЙ С КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ.....	43
М. Айтимов, Г.Б. Абдикеримова, К.К. Макулов, Б.А. Досжанов, Р.У. Альменаева ИССЛЕДОВАНИЕ ЭМОЦИОНАЛЬНОЙ ТОНАЛЬНОСТИ ТЕКСТА С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО И ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ.....	57
А.Т. Акынбекова, А.А. Муханова, Salah Al-Majeed, Г.С. Алтаева НЕЧЕТКИЕ МОДЕЛИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ОЦЕНКИ СОЦИАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ РАЗВИТИЯ РЕГИОНА.....	69
К.М. Алдабергенова, А.Б. Касекеева, М.Ж. Айтимов, К.К. Дауренбеков, Т.Н. Есикова СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАРКЕТИНГОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛОГИСТИКОЙ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА.....	85
А.Е. Абжанова, А.А. Быков, С.К. Сагнаева, Е.А. Абжанов, Д.И. Суржик ОПТИМИЗАЦИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГРУНТА С УЧЕТОМ ПОДЗЕМНЫХ ГРУНТОВЫХ ВОД.....	96
А.М. Бисенгалиева, А.У. Исембаева, Т.К. Душаева, Н.М. Алмабаева, Г.О. Ильясова ОХВАТ КЛЮЧЕВЫХ СЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ.....	108
А.Х. Давлетова, Н.Н. Оразова, Ж.Б. Сайлау, Д.Н. Курмангалиева, Г.Л. Абдугалимов ПУТИ ПОДГОТОВКИ УЧАЩИХСЯ НАЧАЛЬНЫХ КЛАССОВ К МЕЖДУНАРОДНОМУ ИССЛЕДОВАНИЮ PIRLS С ПОМОЩЬЮ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	120
Г. Есмагамбетова, А. Кубигенова, А. Актаева, И. Цэрэн-Онолт, М. Есмагамбет МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ БИОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ.....	137
Г.К. Ешмурат, Л.С. Каинбаева МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ТРЕВОЖНОСТЬ И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА КАРЬЕРУ БУДУЩИХ УЧИТЕЛЕЙ МАТЕМАТИКИ.....	149
Т.К. Жукабаева, В.А. Десницкий, Е.М. Марденов МЕТОДИКА СБОРА, ПРЕДОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ДАННЫХ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ.....	163
А.М. Джумагалиева, А.А. Шекербек, Ж.Ж. Хамитова, М. Свобода, С.А. Калдар ПОВЫШЕНИЕ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ С ПОМОЩЬЮ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ ПОСРЕДСТВОМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ.....	177
А.А. Исмаилова, Г.Е. Мырзабекова, М.Ж. Базарова, Г.Ж. Нурова, Г.Т. Азиева ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЦЕН НА ФОНДОВОМ РЫНКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ	

ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ.....	190
К. Кошанова, Ш. Сапарбайқызы, К.Е. Жангазакова, А.С. Сагынбай, Э. Куриэль-Марин	
МАКСИМАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ОБРАЗОВАНИЯ В STEM: ВКЛАД, ПРОБЛЕМЫ И СТРАТЕГИИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ.....	205
А.А. Муханова, С.К. Кожукаева, Л.Г. Рзаева, Ж.Е. Доумчариева, У.Т. Махажанова	
ПРИМЕНЕНИЕ И АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ СЕТЧАТКИ ГЛАЗА НА ОСНОВЕ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ.....	218
Ә.Ж. Омуртаева, У.Т. Махажанова, М.А. Кантуреева, Г. Ускенбаева, Т.Н. Есикова	
МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ...235	
А.Р. Оразаева, Д.А. Тусупов, В. Войчик, А.К. Шайханова, Г.Б. Бекешова	
ЭФФЕКТИВНОЕ ВЫЯВЛЕНИЕ ПАТОЛОГИИ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ.....	246
Б.Б. Оразбаев, Б.У. Асанова, Ж.Ж. Молдашева, Ж.Е. Шангитова	
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОКСОВЫХ РЕАКТОРОВ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕТКОСТИ И ЭВРИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ЕЕ РЕШЕНИЯ.....	258
Г.А. Салтанова, К.Б. Багитова, Г.А. Дашева, М.Е. Шангитова, Э.Г. Гайсина	
РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ УНИВЕРСИТЕТСКОЙ БИБЛИОТЕКИ: ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ РЕСУРСАМИ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ.....	269
Л.Т. Салыбек, К.Н. Оразбаева, В.Е. Махатова, Л.Т. Курмангазиева, Б.Е. Утенова	
РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ АТМОСФЕРНОГО БЛОКА УСТАНОВКИ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ НА ОСНОВЕ ДОСТУПНОЙ ИНФОРМАЦИИ РАЗЛИЧНОГО ХАРАКТЕРА	285
А. Сейтенов, Т. Жукабаева, С. Ал-Маджид	
ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕДИЦИНЫ С ЭЛЕКТРОННОЙ МЕДИЦИНСКОЙ КАРТОЙ.....	297
Г.Б. Турмуханова, А.А. Таутенбаева, Г.Т. Бекова, С.Б. Нугуманов, Я. Култан	
ФОРМИРОВАНИЕ МЯГКИХ НАВЫКОВ СТУДЕНТОВ УНИВЕРСИТЕТА ПОСРЕДСТВОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СООБЩЕСТВАХ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ.....	310
А.С. Тыныкулова, А.В. Фаддеенков, А.А. Муханова, А.У. Искалиева, А.Б. Абулкасова	
АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ: СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ.....	325
Ж.Р. Умарова, Г.Ж. Ельбергенава, Н.С. Жуматаев, А.Х. Махатова, С.Б. Ботаева	
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМА РАСЧЕТА ПЕРЕНОСА ВЕЩЕСТВА В МОЛЕКУЛЯРНЫХ СИТАХ НА МЕЗОСКОПИЧЕСКОМ УРОВНЕ.....	336

CONTENTS

N. Abdrazakuly, L. Cherikbayeva, N. Mukazhanov, Zh. Alibiyeva CREATING AN EFFECTIVE IMAGE PROCESSING ALGORITHM BASED ON AN ENSEMBLE APPROACH.....	7
B.T. Abykanova, A.A. Tautenbayeva, A.Γ. Amangosova, G.T. Bekova, A.Zh. Akmatbekova INTERACTIVE EDUCATIONAL TECHNOLOGIES IN IMPROVING AND DEVELOPING STUDENTS' AGENCY.....	30
Zh.Zh. Azhibekova, D.I. Ussipbekova, B. Djakhanova, B.K. Zhylanbaeva, A.N. Tursun REMOVING CLOUDS AND NEBULAE FROM SPACE IMAGES USING MACHINE LEARNING METHOD.....	43
M. Aitimov, G.B. Abdikerimova, K.K. Makulov, B.A. Doszhanov, R.U. Almenayeva STUDY OF THE EMOTIONAL TONE OF A TEXT USING MACHINE AND DEEP LEARNING ALGORITHMS.....	57
A. Akynbekova, A. Mukhanova, Salah Al-Majeed, G. Altayeva FUZZY DECISION MAKING MODELS FOR ASSESSING SOCIAL PROCESSES OF REGIONAL DEVELOPMENT.....	69
K.M. Aldabergenova, A.B. Kassekeyeva, M. Aitimov, K. Daurenbekov, T.N. Esikova IMPROVEMENT OF MARKETING MANAGEMENT OF LOGISTICS OF THE AGRICULTURAL COMPLEX.....	85
A.E. Abzhanova, A.A. Bykov, S.K. Sagnaeva, E.A. Abzhanov, D.I. Surzhik OPTIMIZATION OF SOIL MODELING WITH CONSIDERATION OF UNDERGROUND GROUNDWATER.....	96
A.M. Bissengaliyeva, A.U. Issembayeva, T.K. Dushayeva, N.M. Almabayeva, G.O. Ilyassova KEYWORD COVERAGE USING SEMANTIC DATA ANALYSIS.....	108
A.Kh. Davletova, N.N. Orazova, Zh.B. Sailau, D.N. Kurmangalieva, G.L. Abdugalimov WAYS TO PREPARE PRIMARY SCHOOL STUDENTS FOR INTERNATIONAL PIRLS RESEARCH USING INFORMATION TECHNOLOGY.....	120
G. Yesmagambetova, A. Kubigenova, A. Aktayeva, I. Tseren-Onolt, M. Esmaganbet METHODS OF BIOMETRIC DATA PROTECTION BASED ON QUANTUM COMPUTING.....	137
G.K. Yeshmurat, L.S. Kainbayeva UNDERSTANDING MATH ANXIETY AND ITS IMPACT ON MATH EDUCATION STUDENTS' CAREERS.....	149
T.K. Zhukabayeva, V.A. Desnitsky, E.M. Mardenov A TECHNIQUE FOR COLLECTION, PREPROCESSING AND ANALYSIS OF DATA IN WIRELESS SENSOR NETWORKS.....	163
A.M. Jumagaliyeva, A.A. Shekerbek, Zh.Zh. Khamitova, M. Svoboda, S. Kaldar ENHANCING CYBERSECURITY WITH ADAPTIVE ANOMALY DETECTION SYSTEMS THROUGH MACHINE LEARNING.....	177
A.A. Ismailova, G. Murzabekova, M.Zh. Bazarova, G.Zh. Nurova, G.T. Azieva FORECASTING PRICES IN THE STOCK MARKET USING DEEP LEARNING METHODS.....	190

G. Kochshanova, Sh. Saparbaykyzy, K.Y. Zhangazakova, A.S. Sagynbay, E. Curiel-Marin MAXIMIZING THE POTENTIAL OF STEM EDUCATION: CONTRIBUTIONS, CHALLENGES, AND STRATEGIES TO IMPROVE LEARNING OUTCOMES.....	205
A.A. Mukhanova, S.K. Kozhukaeva, L.G. Rzayeva, Zh.E. Doumcharieva, U.T. Makhazhanova APPLICATION AND ANALYSIS OF DEEP LEARNING MODELS FOR DIAGNOSIS OF RETINAL DISEASES FROM MEDICAL IMAGES.....	218
A. Omurtayeva, U. Makhazhanova, M. Kantureyeva, G. Uskenbayeva, T.N. Esikova METHODOLOGY FOR ASSESSING THE INVESTMENT ATTRACTIVENESS OF AGRICULTURAL ENTERPRISES BASED ON THE PRESENTATION OF KNOWLEDGE.....	235
A.R. Orazayeva, J.A. Tussupov, W. Wójcik, A.K. Shaikhanova, G.B. Bekeshova EFFECTIVE DETECTION OF BREAST PATHOLOGY USING MACHINE LEARNING METHODS.....	246
B.B. Orazbayev, B.U. Asanova, Zh.Zh. Moldasheva, Zh.E. Shangitova FORMULATION OF THE PROBLEM OF MULTICRITERIAL OPTIMIZATION OF OPERATING MODES OF COKE REACTORS UNDER FUZZY CONDITIONS AND A HEURISTIC METHOD FOR ITS SOLUTION.....	258
G.A. Saltanova, K.B. Bagitova, G.A. Dasheva, M.E. Shangitova, E.G. Gaisina DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF AN AUTOMATED UNIVERSITY LIBRARY INFORMATION SYSTEM: INFORMATION RESOURCE MANAGEMENT OPTIMIZATION AND EFFECTIVE USER SERVICE PROVISION.....	269
L. Salybek, K. Orazbayeva, V. Makhatova, L. Kurmangazieva, B. Utenova DEVELOPMENT OF MODELS OF THE ATMOSPHERIC BLOCK OF A PRIMARY OIL PROCESSING PLANT BASED ON AVAILABLE INFORMATION OF VARIOUS NATURE.....	285
A. Seitenov, T. Zhukabayeva, S. Al-Majeed DESIGNING A MODEL OF A TELEMEDICINE INFORMATION SYSTEM WITH ELECTRONIC MEDICAL RECORD.....	297
G.B. Turmukhanova, A.A. Tautenbayeva, G.T. Bekova, S.B. Nugumanov, K. Yaroslav FORMATION OF UNIVERSITY STUDENTS' SOFT SKILLS THROUGH INTERACTION I N SOCIAL NETWORKING COMMUNITIES.....	310
A.S. Tynykulova, A.V. Faddeenkov, A.A. Mukhanova, A. Iskaliyeva, D.B. Abulkassova ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF RISK MANAGEMENT IN CONDITIONS OF UNCERTAINTY: MODERN METHODS AND TECHNOLOGIES.....	325
Zh. Umarova, G. Yelbergenova, N. Zhumatayev, A. Makhatova, S. Botayeva INTELLIGENT ANALYSIS OF SUBSTANCE TRANSPORT ALGORITHM IN MOLECULAR SIEVES AT THE MESOSCOPIC LEVEL.....	336

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

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

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

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

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

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

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

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

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:

www.nauka-nanrk.kz

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

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Подписано в печать 15.06.2024.

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

21,0 п.л. Тираж 300. Заказ 2.