

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
Казахский национальный
университет имени аль-Фараби

N E W S

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

SERIES
PHYSICO-MATHEMATICAL

3 (343)

JULY – SEPTEMBER 2022

PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

PUBLISHED 4 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK

БАС РЕДАКТОР:

МУТАНОВ Ғалымқайыр Мұтанұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР БҒМ ҚҰО ақпараттық және есептеу технологиялар институтының бас директорының м.а. (Алматы, Қазақстан), **Н=5**

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ:

КАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрәділұлы (бас редактордың орынбасары), физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР БҒМ ҚҰО ақпараттық және есептеу технологиялар институты бас директорының кеңесшісі, зертхана меңгерушісі (Алматы, Қазақстан), **Н=7**

МАМЫРБАЕВ Өркен Жұмажанұлы (ғалым хатшы), Ақпараттық жүйелер саласындағы техника ғылымдарының (PhD) докторы, ҚР БҒМ ҚҰО ақпараттық және есептеу технологиялар институты директорының ғылым жөніндегі орынбасары (Алматы, Қазақстан), **Н=5**

БАЙГУНЧЕКОВ Жұмаділ Жанабайұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Кибернетика және ақпараттық технологиялар институты, қолданбалы механика және инженерлік графика кафедрасы, Сәтбаев университеті (Алматы, Қазақстан), **Н=3**

ВОЙЧИК Вальдемар, техника ғылымдарының докторы (физ-мат), Люблин технологиялық университетінің профессоры (Люблин, Польша), **Н=23**

СМОЛАРЖ Анджей, Люблин политехникалық университетінің электроника факультетінің доценті (Люблин, Польша), **Н=17**

ӘМІРҒАЛИЕВ Еділхан Несіпханұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Жасанды интеллект және робототехника зертханасының меңгерушісі (Алматы, Қазақстан), **Н=12**

КИЛАН Әлімхан, техника ғылымдарының докторы, профессор (ғылым докторы (Жапония), ҚР БҒМ ҚҰО ақпараттық және есептеу технологиялар институтының бас ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан), **Н=6**

ХАЙРОВА Нина, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР БҒМ ҚҰО ақпараттық және есептеу технологиялар институтының бас ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан), **Н=4**

ОТМАН Мохаммед, PhD, Информатика, коммуникациялық технологиялар және желілер кафедрасының профессоры, Путра университеті (Селангор, Малайзия), **Н=23**

НЫСАНБАЕВА Сауле Еркебұланқызы, техника ғылымдарының докторы, доцент, ҚР БҒМ ҚҰО ақпараттық және есептеу технологиялар институтының аға ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан), **Н=3**

БИЯШЕВ Рустам Гакашевич, техника ғылымдарының докторы, профессор, Информатика және басқару мәселелері институты директорының орынбасары, Ақпараттық қауіпсіздік зертханасының меңгерушісі (Қазақстан), **Н=3**

КАПАЛОВА Нұрсұлу Алдажарқызы, техника ғылымдарының кандидаты, ҚР БҒМ ҚҰО ақпараттық және есептеу технологиялар институтының киберқауіпсіздік зертханасының меңгерушісі (Алматы, Қазақстан), **Н=3**

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

МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович, техника ғылымдарының докторы, профессор, Беларусь Ұлттық Ғылым академиясының академигі (Минск, Беларусь), **Н=2**

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

«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: *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 МНВО 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 МНВО РК, заведующий лабораторией (Алматы, Казахстан), **Н=7**

МАМЫРБАЕВ Оркен Жумажанович, (ученый секретарь), доктор философии (PhD) по специальности «Информационные системы», заместитель директора по науке РГП «Институт информационных и вычислительных технологий» Комитета науки МНВО РК (Алматы, Казахстан), **Н=5**

БАЙГУНЧЕКОВ Жумадил Жанабаевич, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Институт кибернетики и информационных технологий, кафедра прикладной механики и инженерной графики, Университет Саптаева (Алматы, Казахстан), **Н=3**

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

СМОЛАРЖ Анджей, доцент факультета электроники Люблинского политехнического университета (Люблин, Польша), **Н=17**

АМИРГАЛИЕВ Едилхан Несипханович, доктор технических наук, профессор, академик Национальной инженерной академии РК, заведующий лабораторией «Искусственного интеллекта и робототехники» (Алматы, Казахстан), **Н=12**

КЕЙЛАН Алимхан, доктор технических наук, профессор (Doctor of science (Japan)), главный научный сотрудник РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), **Н=6**

ХАЙРОВА Нина, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), **Н=4**

ОТМАН Мохамед, доктор философии, профессор компьютерных наук, Департамент коммуникационных технологий и сетей, Университет Путра Малайзия (Селангор, Малайзия), **Н=23**

НЫСАНБАЕВА Сауле Еркебулановна, доктор технических наук, доцент, старший научный сотрудник РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), **Н=3**

БИЯШЕВ Рустам Гакашевич, доктор технических наук, профессор, заместитель директора Института проблем информатики и управления, заведующий лабораторией информационной безопасности (Казахстан), **Н=3**

КАПАЛОВА Нурсулу Алдажаровна, кандидат технических наук, заведующий лабораторией кибербезопасности РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), **Н=3**

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**

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

«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 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.

Chief Editor:

MUTANOV Galimkair Mutanovich, doctor of technical sciences, professor, academician of NAS RK, acting General Director of the Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), **H=5**

EDITORIAL BOARD:

KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich, (Deputy Editor-in-Chief), Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Advisor to the General Director of the Institute of Information and Computing Technologies of the CS MES RK, Head of the Laboratory (Almaty, Kazakhstan), **H=7**

Mamyrbayev Orken Zhumazhanovich, (Academic Secretary), PhD in Information Systems, Deputy Director for Science of the Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), **H=5**

BAIGUNCHEKOV Zhumadil Zhanabaevich, 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 Technical Sciences (Phys.-Math.), Professor of the Lublin University of Technology (Lublin, Poland), **H=23**

SMOLARJ Andrej, Associate Professor Faculty of Electronics, Lublin polytechnic university (Lublin, Poland), **H=17**

AMIRGALIEV Edilkhan Nesipkhanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Head of the Laboratory of Artificial Intelligence and Robotics (Almaty, Kazakhstan), **H=12**

KEILAN Alimkhan, Doctor of Technical Sciences, Professor (Doctor of science (Japan)), chief researcher of Institute of Information and Computational Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), **H=6**

KHAIROVA Nina, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Institute of Information and Computational Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), **H=4**

OTMAN Mohamed, PhD, Professor of Computer Science Department of Communication Technology and Networks, Putra University Malaysia (Selangor, Malaysia), **H=23**

NYSANBAYEVA Saule Yerkebulanovna, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher of the Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), **H=3**

BIYASHEV Rustam Gakashevich, doctor of technical sciences, professor, Deputy Director of the Institute for Informatics and Management Problems, Head of the Information Security Laboratory (Kazakhstan), **H=3**

KAPALOVA Nursulu Aldazharovna, Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory cyber-security, Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), **H=3**

KOVALYOV Alexander Mikhailovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Applied Mathematics and Mechanics (Donetsk, Ukraine), **H=5**

MIKHALEVICH Alexander Alexandrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus (Minsk, Belarus), **H=2**

TIGHINEANU Ion Mihailovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician, President of the Academy of Sciences of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova), **H=42**

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

Physical-mathematical series.

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 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.

К.С. Чежимбаева*, А.Н. Хайруллина

НАО «Алматинский университет энергетики и связи им. Г. Даукеева»,
Казахстан, Алматы.

E-mail: k.chezhimbayeva@aues.kz

ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКА LORA

Аннотация. Сети LPWAN – относительно новая модель связи, где традиционные технологии сотовой связи и беспроводные связи малой дальности комбинируются и дополняются обработкой различных запросов в приложениях. Технология обеспечивает широкополосное подключение при низком энергопотреблении и подходят для устройств с низкой скоростью передачи данных при низкой стоимости, что является безусловным преимуществом. Прогнозируется, что рынок сетей LPWA также будет значительным, что в итоге приведет к подключению к Интернету около 30 миллиардов устройств.

LoRa / LoRaWAN в настоящее время является самой популярной технологией глобальной сети с низким энергопотреблением (LPWAN), позволяющей использовать приложения Интернета вещей (IoT). LoRa/LoRaWAN — это технология сотовой связи, поддерживающая широкий диапазон параметров связи для множества узлов. Прежде чем приступить к развертыванию Интернета вещей поверх сети LoRaWAN, рекомендуется провести исследования на основе моделирования, чтобы оптимизировать дизайн-сети LoRaWAN для рассматриваемого Интернета вещей. LoRaSim в настоящее время является самым популярным симулятором для LoRa/LoRaWAN.

Ключевыми элементами интеллектуальных электросетей являются умные счетчики, которые будут составлять основу систем мониторинга и учета энергопотребления. В частности, особый интерес представляет именно мониторинг, в котором обмен большим количеством данных

осуществляется с высокой частотой; поэтому в данной статье будет смоделирована работа интеллектуальной электросети на основе LoRa, а именно проведена оценка эффективности сети для кейса мониторинга. Таким образом, целью статьи является получение реальной картины различных аспектов применения технологии LoRa в системах мониторинга интеллектуальных сетей [7].

Ключевые слова: Интернет вещей, беспроводные сенсорные сети, модуляция, интеллектуальные системы учета ресурсов, надежность канала передачи данных, медленная волна, коэффициент замедления, энергетические и фазовые характеристики.

К.С. Чежимбаева*, А.Н. Хайруллина

Ғ. Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті,
Қазақстан, Алматы.

E-mail: k.chezhimbayeva@aes.kz

LORA ҚАБЫЛДАҒЫШ/ЖІБЕРГІШНІҢ ӨНІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ

Аннотация. LPWAN желілері салыстырмалы түрде жаңа байланыс моделі болып табылады, онда дәстүрлі ұялы байланыс технологиялары мен қысқа қашықтықтағы сымсыз байланыс қосымшалары әртүрлі сұраныстарды өңдеумен біріктіріліп, толықтырылады. Технология төмен қуат тұтытуда кең жолақты қосылуды қамтамасыз етеді және құндылығы төмен деректерді жіберу жылдамдығы төмен құрылғылар үшін қолайлы, әрі сөзсіз артықшылық болып есептеледі. LPWA желілері нарығыда маңызды болады деп болжануда, нәтижесінде 30 миллиардқа жуық құрылғы интернетке қосылады.

LoRa / LoRaWAN қазіргі уақытта интернет заттары (IoT) қосымшаларын пайдалануға мүмкіндік беретін ең танымал төмен қуатты ғаламдық желі (LPWAN) технологиясы. LoRa / LoRaWAN – бұл көптеген түйіндерге арналған байланыс параметрлерінің кең спектрін қолдайтын ұялы байланыс технологиясы. LoRaWAN желісінің үстіне заттар интернетін орналастыруды бастамас бұрын, қарастырылып отырған заттар интернеті үшін LoRaWAN желісінің дизайнын оңтайландыру үшін модельдеу негізінде зерттеулер жүргізген жөн. LoRaSim қазіргі уақытта LoRa / LoRaWAN үшін ең танымал тренажер болып табылады.

Ақылды есептеуіштер интеллектуалды электр желілерінің негізгі

элементтері, олар тұтынуды есепке алу және мониторингілеу жүйелерінің негізі. Атап айтқанда, мониторинг ерекше қызығушылық тудырады, онда көптеген мәліметтермен алмасу жоғары жиілікте жүзеге асырылады; сондықтан осы мақалада LoRa негізінде интеллектуалды электр желісінің жұмысы модельденеді, атап айтқанда, мониторинг жағдайы үшін желінің тиімділігі бағаланады. Осылайша, мақаланың мақсаты интеллектуалды желілерді бақылау жүйелерінде LoRa технологиясын қолданудың әртүрлі аспектілерінің нақты көрінісін алу болып табылады.

Түйін сөздер: заттар интернеті, сымсыз сенсорлық желілер, модуляция, интеллектуалды ресурстарды есепке алу жүйелері, деректерді жіберу арнасының сенімділігі, баяу толқын, баяулау коэффициенті, энергетикалық және фазалық сипаттамалары.

K.S. Chezimbayeva*, A.N. Khairullina

Non-profit JSC «Almaty University of Poer Engineering and Telecommunications named after G. Daukeyev», Kazakhstan, Almaty.

E-mail: k.chezimbayeva@aes.kz

EVALUATION OF LORA TRANSCEIVER PERFORMANCE

Abstract. LPWAN networks are a relatively new communication model, where traditional cellular communication technologies and short-range wireless communications are combined and supplemented by processing various requests in applications. The technology provides broadband connectivity with low power consumption and is suitable for devices with low data transfer rates at low cost, which is an absolute advantage. It is predicted that the LPWA network market will also be significant, which will eventually lead to an Internet connection of about 30 billion devices.

LoRa / LoRaWAN is currently the most popular low-power wide area network (LPWAN) technology that enables Internet of Things (IoT) applications. LoRa/LoRaWAN is a cellular communication technology that supports a wide range of communication parameters for multiple nodes. Before proceeding with the deployment of the Internet of Things over the LoRaWAN network, it is recommended to conduct simulation-based research to optimize the design of the LoRaWAN network for the Internet of Things in question. LoRaSim is currently the most popular simulator for LoRa/LoRaWAN.

The key elements of intelligent power grids are smart meters, which will form the basis of energy consumption monitoring and accounting systems. In particular, monitoring is of particular interest, in which a large amount of data is exchanged with a high frequency; therefore, this article will simulate the operation of an intelligent power grid based on LoRa, namely, an assessment of the network efficiency for the monitoring case. Thus, the purpose of the article is to get a real picture of various aspects of the application of LoRa technology in intelligent network monitoring systems [7]

Key words: Internet of Things, wireless sensor networks, modulation, intelligent resource accounting systems, data channel reliability, slow wave, deceleration coefficient, energy and phase characteristics.

Введение. LoRa (Long Range Radio) – беспроводная технология, которая предназначена для сетей M2M и Интернета вещей. Эта технология позволяет общедоступным или многопользовательским сетям подключать несколько приложений, которые работают в одной сети. С помощью датчиков LoRa и автоматизированных приложений технология позволит развивать умный город [11]. LoRa Alliance - это открытый, некоммерческий Международный Альянс фирм и партнеров по обмену партнерской степенью, который разделяет миссию по институционализации организации LPWAN, которая постоянно распространяется по всему миру для настройки инноваций в области Интернета вещей и межмашинных взаимодействий, «умных» городских сообществ, и современных приложений [3].

Материалы и методы исследования. Моделирование будет осуществляться в LoRaSim. LoRaSim – это дискретно-событийный симулятор для сетей LoRa, который ориентирован на исследование масштабируемости сети и коллизий. LoRaSim написан на языке программирования Python 2.7. Симулятор включает в себя четыре скрипта для различных экспериментов: `loraDir.py`, `loraDirMulBs.py`, `directionalLoraIntf.py` и `oneDirectionalLoraIntf.py`. Скрипт `loraDir.py` имитирует работу одной базовой станции, `loraDirMulBs.py` – более чем одной базовой станции (до 24-х), `loraDirMulBs.py` имитирует работу ОУ с направленными антеннами и нескольких сетей, `oneDirectionalLoraIntf.py` имитирует работу базовых станций с направленными антеннами и нескольких сетей. Все четыре скрипта требуют, чтобы были установлены библиотеки `matplotlib`, `SimPy` и `NumPy` [4].

В LoRaSim можно задавать ряд параметров, таких как количество конечных устройств, количество базовых станций (или LoRa-шлюзов), расстояние между БС, количество посторонних сетей, наличие

направленных антенн. Симулятор также позволяет проводить проверку на количество коллизий. Более того, LoRaSim может оценить потребление энергии всей сети. Однако следует иметь в виду, что симулятор рассчитывает только энергию, потребляемую радиостанцией для передачи пакетов. Он не учитывает время простоя или потребление энергии оконечными устройствами или самими радиостанциями [5].

У каждого скрипта свои входные параметры:

- loraDir.py: <NODES> <AVGSEND> <EXPERIMENT> <SIMTIME> [COLLISION];

- loraDirMulBS.py: <NODES> <AVGSEND> <EXPERIMENT> <SIMTIME> <BASESTATIONS> [COLLISION];

- directionalLoraIntf.py: <NODES> <AVGSEND> <EXPERIMENT> <SIMTIME> <BASESTATIONS> <COLLISION> <DIRECTIONALITY> <NETWORKS> <BASEDIST>;

<BASESTATIONS> <COLLISION> <DIRECTIONALITY> <NETWORKS> <BASEDIST>.

Обозначения параметров:

- NODES – количество ОУ на одну базовую станцию (шлюз);

- AVGSEND – средний интервал отправки пакетов к БС в миллисекундах;

- EXPERIMENT – параметр, определяющий основные конфигурации сети (от 0 до 5); LoRaSim предлагает шесть различных конфигураций, отличающихся друг от друга коэффициентом расширения спектра, шириной полосы пропускания, скоростью кодирования и т. д.;

- SIMTIME – длительность симуляции в миллисекундах;

- BASESTATIONS – количество базовых станций (1, 2, 3, 4, 6, 8 или 24);

- COLLISION – "1" означает полную проверку на коллизии, "0" – упрощенную (по умолчанию); при упрощенной проверке два пакета накладываются, если они прибывают в одно и то же время, на той же частоте и с тем же коэффициентом расширения спектра; полная проверка на коллизии подразумевает "эффект захвата", при котором один из двух накладывающихся пакетов все еще может достигнуть места назначения в зависимости от момента времени и разницы в мощности приема;

- DIRECTIONALITY – "1" означает, что ОУ имеют направленные антенны;

- NETWORKS – количество сетей LoRa;

- BASEDIST – расстояние между двумя базовыми станциями.

В результате каждой симуляции программа создает файл под названием "expX.dat", в котором "X" – это параметр эксперимента (от

0 до 5). Файл состоит из столбцов, разделенных пробелом: количество ОУ, коллизии, энергопотребление и т. д.

Данные из файла можно с легкостью визуализировать, например, при помощи `gnuplot`. В данной работе будут использоваться скрипты `loraDir.py`, коды даны в приложении А. Рассмотрим пять основных регулируемых параметров, определяющих работу передатчика LoRa:

1. Коэффициент расширения спектра (SF). В технологии LoRa коэффициент расширения спектра может быть определен, как соотношение между скоростью передачи элементов сигнала и символьной скоростью, которое описывается значением от 7 до 12. SF тесно связан с такими параметрами, как скорость кодирования и ширина полосы пропускания. Регулируя значение SF, можно добиться различных скорости передачи данных и времени пребывания в эфире. Большое значение коэффициента расширения означает низкую скорость передачи, но большие дальность и чувствительность приемника. К тому же, большие значения SF оказывают сильное влияние на потребление энергии оконечными устройствами.

2. Ширина полосы пропускания (BW). Согласно LoRa Alliance, ширина полосы пропускания может принимать значения 125 КГц, 200 КГц и 500 КГц. Большее значение ширины полосы пропускания обеспечивает большую скорость передачи и меньшее время эфира. Однако это уменьшает чувствительность и, как следствие, возрастает влияние на устойчивость к интерференции.

3. Скорость кодирования (CR). Скорость кодирования определяется как количество битов упреждающей коррекции ошибок (Forward Error Correction, или FEC), которые прибавляются к передаваемому пакету с целью гарантировать возможность восстановления поврежденных данных в результате интерференции. Она может принимать значения 4/5, 4/6, 4/7 или 4/8. Скорость кодирования оказывает значительное влияние на время передачи: чем больше значение CR, тем больше информации закладывается в полезную нагрузку сообщения и, следовательно, больше время передачи. Однако это также улучшает защищенность от пакетов ошибок.

4. Несущая частота (CF). Несущая частота – это центральная частота, которая может быть установлена между 137 МГц и 1020 МГц с шагом 61 Гц. Более высокая частота означает меньшее время передачи и распространения.

5. Мощность передатчика (TP). В зависимости от того, как устроен приемник LoRa, мощность передатчика может принимать значение от -4

дБм до 20 дБм с шагом 1 дБ. Особенности регулирования использования радиочастотных ресурсов и ограниченность аппаратного обеспечения наложили свой след на разрешенные мощности передатчика. Таким образом, значения мощности передатчика ограничены в пределах от 2 дБм до 20 дБм.

В таблице 1 приведены параметры конфигурации, которые будут использоваться в моделировании. В LoRaSim конфигурациям №1, 2 и 3 соответствуют параметры <EXPERIMENT> 0, 2 и 4, соответственно. Конфигурация №1 – это сеть с наименьшей скоростью передачи. Конфигурация №2 – сеть с наибольшей скоростью передачи. Конфигурация №3 использует параметры, рекомендуемые спецификацией LoRaWAN [8].

Таблица 1 - Параметры конфигурации

Параметр	Конфиг. №1	Конфиг. №2	Конфиг. №3
Количество ОУ, N	-	-	-
Размер полезной нагрузки, В	20 байт	20 байт	20 байт
Средний период отправки пакетов, λ	300 000 мс (5 мин)	300 000 мс (5 мин)	300 000 мс (5 мин)
Радиус ячейки, R	-	-	-
Мощность передатчика, TR	14 дБм	14 дБм	14 дБм
Несущая частота, CF	868 МГц	868 МГц	868 МГц
Коэффициент расширения спектра, SF	12	7	12
Скорость кодирования, CR	4/8	4/5	4/5
Ширина полосы пропускания, BW	125 КГц	500 КГц	125 КГц

Во всех экспериментах размер пакета по умолчанию будет составлять 20 байт, что является вполне достаточным для поддержки таких реальных способов применения, как интеллектуальный учет и, самое главное, мониторинг. Количество оконечных устройств N – это положительное целое число, которое будет меняться в ходе экспериментов. Все эти устройства разбросаны по территории в радиусе R вокруг базовой станции.

Согласно спецификации различных смарт-счетчиков электроэнергии, отправки пакетов можно организовать с периодом от 5 минут до одного месяца, в зависимости от выполняемых задач.

Мы предполагаем, что оконечные устройства отправляют пакеты к базовой станции каждые 900 000 миллисекунд, или 15 минут, т.к., согласно разным источникам, это самый оптимальный интервал, с которым умные счетчики должны отправлять ряд показателей энергии

в системах мониторинга. Следует также отметить, что этот временной интервал может меняться в зависимости от кейсов использования LoRa, например, автоматическое снятие показаний электропотребления в жилых домах можно проводить каждый час или даже один раз в день.

Мощность передатчика примем равным 14 дБм. Остальные параметры следующие: скорость кодирования 4/8 или 4/5, ширина полосы пропускания 125 КГц или 500 КГц, коэффициент расширения спектра SF 12 или 7, несущая частота 868 МГц. В данных экспериментах мы будем использовать следующие обозначения названных параметров: TP (мощность передатчика - transmission power), CF (несущая частота - carrier frequency), SF (коэффициент расширения спектра - spreading factor), BW (ширина полосы пропускания - bandwidth), CR (скорость кодирования - coding rate), λ (временной интервал отправки пакетов), В (размер полезной нагрузки сообщения).

Для оценки работы всей сети мы будем использовать скорость извлечения данных (Data Extraction Rate, или DER) и потребление энергии.

DER вычисляется по формуле (1) [2]:

$$DER = \frac{N_{\text{пер}} - N_{\text{кол}}}{N_{\text{пер}}}, \quad (1)$$

где $N_{\text{пер}}$ – количество переданных пакетов, $N_{\text{кол}}$ – количество коллизий.

Проще говоря, DER – это отношение количества успешно принятых пакетов к количеству переданных пакетов за определенный промежуток времени. В идеальных условиях $DER = 1$, т. е. все переданные пакеты корректно доставляются к базовой станции.

Экспериментальное исследование различных конфигураций сети LoRaWAN при наличии одной базовой станции.

В этом эксперименте мы изучаем работу простейшего случая сети LoRa (рисунок 1), в котором N оконечных устройств отправляют пакеты единственной базовой станции (или LoRa-шлюзу). Для данного эксперимента мы воспользуемся тремя конфигурациями, приведенными в таблице 1. Длительность симуляции составляет один день (8 640 000 мс). Радиус ячейки по умолчанию: $R = 99$ м.

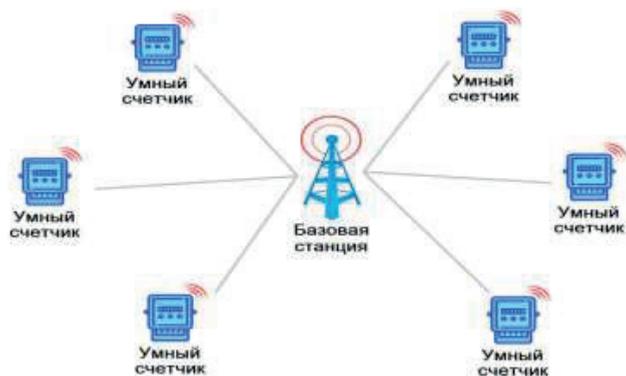


Рисунок 1 – Сеть для эксперимента

Последняя строка на рисунке 2 – образец того, как осуществляется внесение исходных данных в программу: наименование скрипта (loraDir.py), количество ОУ (500), период отправки пакетов (900 000 мс, или каждые 15 мин), конфигурация №2 (в LoRaSim она обозначена числом 2), длительность симуляции (8 640 000 мс, или 24 ч) и проверка на коллизии (1).

```
C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Version 10.0.17763.1217]
(c) Корпорация Майкрософт (Microsoft Corporation), 2018. Все права защищены.

C:\Users\Ienin_laptop>cd\

C:\>cd python27

C:\Python27>python loraDir.py 500 900000 2 86400000 1
```

Рисунок 2 – Ввод данных

Входные данные для конфигурации №1:

```
python loraDir.py 1 900000 0 86400000 1
python loraDir.py 100 900000 0 86400000 1
python loraDir.py 200 900000 0 86400000 1
```

```
python loraDir.py 300 900000 0 86400000 1
python loraDir.py 400 900000 0 86400000 1
python loraDir.py 500 900000 0 86400000 1
python loraDir.py 600 900000 0 86400000 1
python loraDir.py 700 900000 0 86400000 1
python loraDir.py 800 900000 0 86400000 1
python loraDir.py 900 900000 0 86400000 1
python loraDir.py 1000 900000 0 86400000 1
```

Входные данные для конфигурации №2:

```
python loraDir.py 1 900000 2 86400000 1
python loraDir.py 100 900000 2 86400000 1
python loraDir.py 200 900000 2 86400000 1
python loraDir.py 300 900000 2 86400000 1
python loraDir.py 400 900000 2 86400000 1
python loraDir.py 500 900000 2 86400000 1
python loraDir.py 600 900000 2 86400000 1
python loraDir.py 700 900000 2 86400000 1
python loraDir.py 800 900000 2 86400000 1
python loraDir.py 900 900000 2 86400000 1
python loraDir.py 1000 900000 2 86400000 1
```

Входные данные для конфигурации №3:

```
python loraDir.py 1 900000 4 86400000 1
python loraDir.py 100 900000 4 86400000 1
python loraDir.py 200 900000 4 86400000 1
python loraDir.py 300 900000 4 86400000 1
python loraDir.py 400 900000 4 86400000 1
python loraDir.py 500 900000 4 86400000 1
python loraDir.py 600 900000 4 86400000 1
python loraDir.py 700 900000 4 86400000 1
python loraDir.py 800 900000 4 86400000 1
python loraDir.py 900 900000 4 86400000 1
python loraDir.py 1000 900000 4 86400000 1
```

На рисунках 3, 4, 5 отображены результаты для различных конфигураций сети LoRa в случае мониторинга. Файлы с результатами содержат информацию о количестве ОУ, коллизий, отправок, DER и затраченной на передачу энергии.

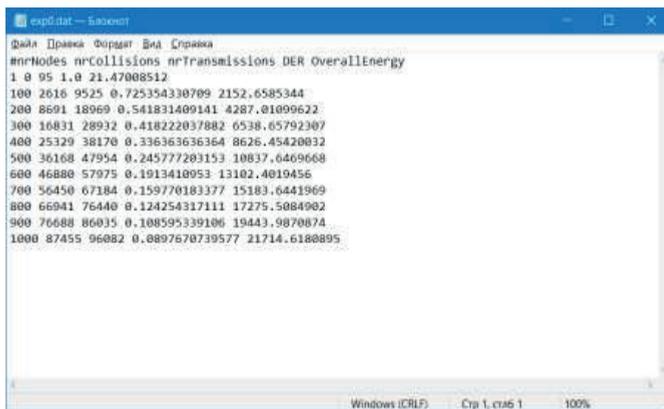


Рисунок 3 – Результат эксперимента для сети с конфигурацией №1

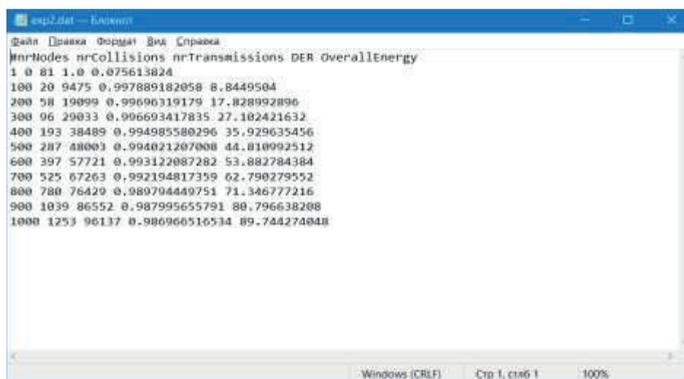


Рисунок 4 – Результат эксперимента для сети с конфигурацией №2

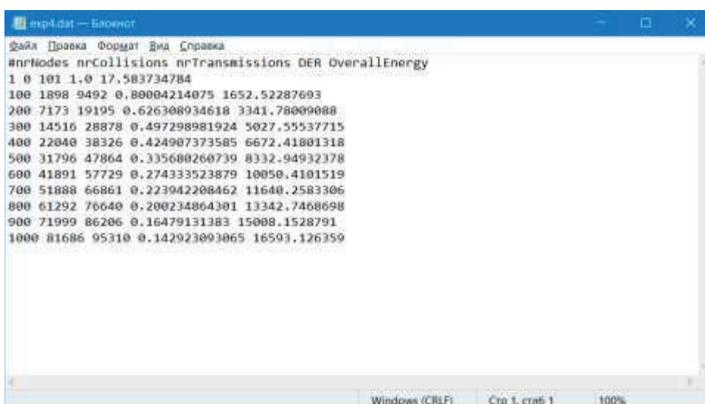


Рисунок 5 – Результат эксперимента для сети с конфигурацией №3

На рисунках 6, 7 приведено визуальное обобщение эксперимента для всех трех конфигураций сети, построенное в gnuplot [5], а именно

зависимость DER и энергопотребления от количества ОУ. Каждому маркеру соответствует результат симуляции. Отношение количества корректно принятых сообщений к количеству отправленных сообщений для каждой конфигурации различно.

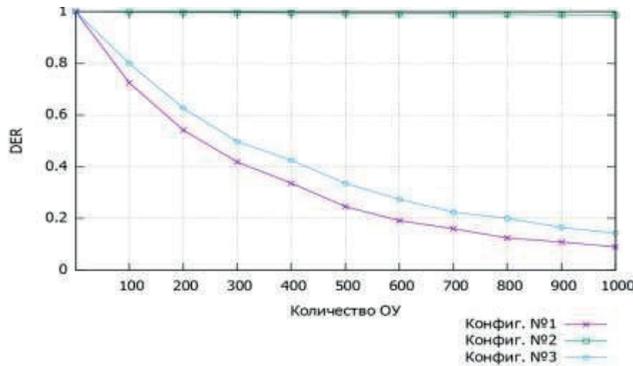


Рисунок 6 – Зависимость DER от количества ОУ

Из рисунка 6 видно, что соотношение между принятыми и отправленными сообщениями DER уменьшается по экспоненте с увеличением количества ОУ при низких скоростях передачи (конфигурации №1 и №3). Сеть с конфигурацией №2 имеет хорошие показатели работы: DER больше 0,9 при различных значениях количества оконечных устройств N.

С точки зрения энергоэффективности, сеть с конфигурацией №2 - лучший вариант (рисунок 7). Такая сеть потребляет малое количество энергии вне зависимости от числа оконечных устройств, в то время как в конфигурациях №1 и №3 наблюдается рост энергопотребления по мере увеличения N.

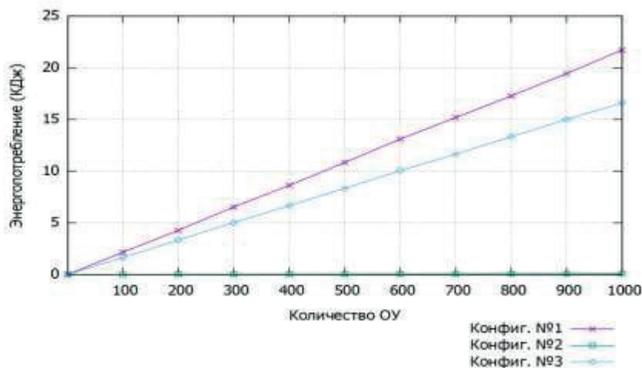


Рисунок 7 – Зависимость энергопотребления от количества ОУ

Таким образом, можно заключить, что в случае мониторинга, где энергопотребление сети и соотношение DER являются критическими факторами, конфигурация №2 - идеальное решение. Однако следует иметь в виду, что в сетях LPWAN топология может оказать как положительное, так и отрицательное воздействие на потребление энергии каждого оконечного устройства. Использование звездной топологии помогает повысить энергетическую эффективность. Вдобавок, передача вычислительных функций серверам может в дальнейшем снизить энергопотребление.

Проведение экспериментального исследования надежности канала передачи данных, основанного на технологии LoRaWAN. Одним из основных требований при проектировании каналов передачи данных в сетях Интернета вещей, является требование к надежности системы. Личные данные пользователей или конфиденциальная производственная информация должны быть защищены надлежащим образом. В свою очередь, немаловажным фактором достижения высокой надежности канала связи является обеспечение помехозащищенности канала [9].

В данной главе попытаемся экспериментальным путем исследовать помехозащищенность канала связи, основанного на данной технологии беспроводной передачи данных LoRa. В качестве основных показателей эффективности исследуемого канала связи будем использовать такие характеристики как RSSI и SNR.

RSSI или Received Signal Strength Indicator (индикатор уровня принимаемого сигнала) – один из критериев качества связи. Отображает уровень мощности принимаемого сигнала и позволяет дать оценку качества этого сигнала. Данный показатель измеряется в дБ(dB) и может принимать значения от -120 до 0 дБ. Чем ближе к нулю значение RSSI, тем выше уровень сигнала [10].

SNR или Signal-to-Noise-Ratio (отношение сигнал/шум) – отношение полезного сигнала к мощности шума. SNR измеряется в дБ и может быть вычислено по следующей формуле [1]:

$$\text{SNR(dB)} = 10\log_{10}\left(\frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{noise}}}\right) = 20\log_{10}\left(\frac{A_{\text{signal}}}{A_{\text{noise}}}\right), \quad (2)$$

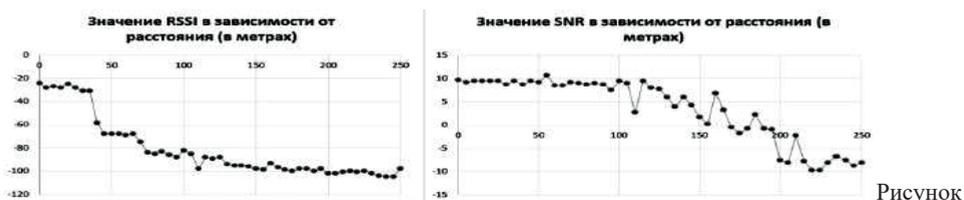
где P – средняя мощность, а A – среднеквадратичное значение амплитуды.

Для проведения эксперимента потребуются два приемопередатчика Ra-02 (модули беспроводной передачи данных на основе трансивера

SX1278) [7] и два контроллера Arduino Uno [10]. Для создания экспериментального канала связи необходимо создать два соединения: для передающей и принимающей стороны. Сначала необходимо припаять к модулю Ra-02 соединительные провода для дальнейшего соединения с контроллером. В качестве антенны будем использовать металлическую проволоку. Соединив соответствующие контакты, получим следующую конструкцию. Конструкция одинакова и для приемника, и для передатчика.

В качестве интегрированной среды разработки (Integrated Development Environment) будет использоваться Arduino IDE. Для работы с модулем LoRa будем использовать готовую библиотеку LoRa (библиотека свободно распространяется разработчиком через Интернет).

Эксперимент № 1. Измерение в условиях прямой видимости с различными расстояниями между передатчиком и приемником: 0 м, 50 м, 100 м, 150 м, 200 м, 250 м. Полученные значения RSSI и SNR отображены на гистограммах (рисунок 8).



8 – Гистограммы значений RSSI и SNR для эксперимента № 1

Также нужно отметить, что после преодоления расстояния в 200 м наблюдаются искажения и потеря пакетов данных. Здесь уровень SNR опускается ниже -2 дБ.

Исходя из результатов проведенного эксперимента, можно сделать следующие выводы: канал связи на основе технологии LoRa способен эффективно передавать пакеты данных на расстоянии до 150 м; помехозащищенность канала связи достигает критического уровня при значениях SNR < -2 дБ.

Эксперимент № 2. Измерение при разнесении приемника и передатчика в разные помещения на расстоянии 5 м. (разделенные бетонной стеной).

Полученные значения RSSI и SNR отображены на гистограммах (рисунок 9). Значения для пакетов данных, полученных при созданных условиях, выделены прямоугольником.



Рисунок 9 – Гистограммы значений RSSI и SNR для эксперимента № 2

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о том, что физические препятствия (в нашем случае – бетонная стена) сильно влияют на канал связи. Зарегистрированные значения RSSI и SNR намного меньше, чем на тех же расстояниях в условиях прямой видимости (в сравнении с результатами, полученными в ходе эксперимента № 1). В данных условиях мощность помехи становится примерно равной мощности сигнала, соответственно, качественная передача пакетов данных становится невозможной.

Эксперимент № 3. Измерение при создании электромагнитного излучения частотой 2,45 ГГц (СВЧ-печь).

Полученные значения SNR в условиях создания помехи отображены на гистограмме (рисунок 10). Значения для пакетов данных, полученных при одновременном включении СВЧ-печи, выделены прямоугольником.

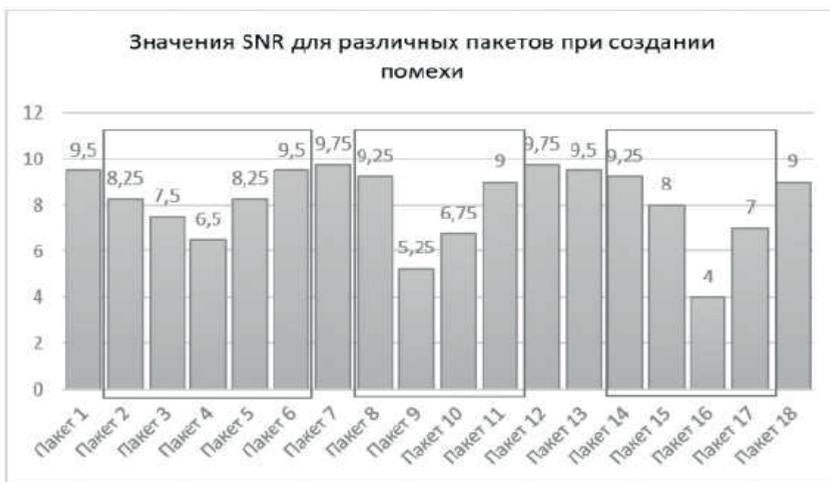


Рисунок 10 – Гистограмма значений SNR для эксперимента № 3

Результаты и обсуждение. Анализируя полученные результаты, можно сделать следующий вывод: расположенный поблизости источник высокочастотного сигнала (в данном случае СВЧ-печь) достаточно сильно влияет на помехозащищенность канала связи на основе технологии LoRa. Из гистограммы (рисунок 10) видно, что уровень SNR изменяется волнообразно и минимальный уровень зарегистрирован в момент создания помехи.

Таким образом, подводя итоги проведенных экспериментов, можно сказать, что использование канала связи на основе технологии LoRa возможно для создания сети Интернета вещей умных домов и городов, транспорта, промышленного интернета вещей и так далее. Результаты, полученные в ходе эксперимента, можно значительно улучшить использованием более мощной антенны, а также созданием сети с архитектурой, включающей промежуточные шлюзы (базовые станции). Тем не менее, использование сети Интернета вещей на основе технологии LoRa на объектах критической информационной инфраструктуры ставится под сомнение и требует гораздо более глубокого изучения и является предпосылкой к дальнейшей научной работе.

Заключение. В экспериментальной части были проведены несколько экспериментов, демонстрирующих особенности технологии LoRa, была проведена оценка эффективности работы сети LoRa с тремя различными конфигурациями. Была проведена оценка отношения количества корректно принятых пакетов к количеству переданных пакетов (DER) и энергопотребления сетей в качестве показателей работы при разных конфигурациях, чтобы определить сильные и слабые стороны технологии LoRa в конкретных случаях применения.

Используя три различные конфигурации №1, №2 и №3, было установлено, что при малых скоростях передачи данных, а именно при большом коэффициенте расширения спектра, равном 12, LoRa очень чувствительна к количеству оконечных устройств и их большое число может привести к резкому уменьшению параметра DER. Более того, в двух сценариях сети LoRa из трех, а именно при коэффициенте расширения спектра SF, равном 12, линейно возрастает энергопотребление на передачу при увеличении количества оконечных устройств, а то время, как при SF = 7 энергопотребление постоянно и минимально.

Надежность системы – одно из основных требований при проектировании каналов передачи данных в сетях Интернета вещей.

В ходе написания данной статьи были проведены три эксперимента в различных условиях для оценки помехозащищенности канала связи, основанного на технологии беспроводной передачи данных LoRa (Long Range), как одного из основных показателей надежности. В качестве основных показателей помехозащищенности был рассчитан Received Signal Strength Indicator (индикатор уровня принимаемого сигнала) и Signal-to-Noise-Ratio (отношение сигнал/шум). Для проведения были использованы два приемопередатчика Ra-02 и два контроллера Arduino Uno. Создав приемник и передатчик на основе вышеуказанных элементов, были проведены три эксперимента с условиями: изменения расстояния между приемником и передатчиком от 0 до 250 метров; преграды между приемником и передатчиком (бетонная стена); создания электромагнитных помех (сверхвысокочастотная печь).

Результаты проведенных экспериментов позволяют утверждать, что использование канала связи на основе технологии LoRa возможно для создания сетей Интернета, но использование на объектах критической информационной инфраструктуры ставится под сомнение и требует гораздо более глубокого изучения и является предпосылкой к дальнейшей научной работе.

Information about authors:

K.S. Chezimbayeva – PhD in Technical Sciences, professor, Non-profit JSC «Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev». E-mail: k.chezhimbayeva@aues.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1661-2226>;

A.N. Khairullina – master’s student of 2nd group, Non-profit JSC «Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev». <https://orcid.org/0000-0003-2890-1962>.

ЛИТЕРАТУРА

Bankov Dmitry, Khorov Evgeny, Lyakhov Andrey. LoRaWAN Modeling and MCS Allocation to Satisfy Heterogeneous QoS Requirements. Sensors. 2019. Vol. 19, no. 19. Pp. 1–23.

Бабаев А.А., Банков Д.В., Хоров Е.М. Анализ эффективности метода доступа к каналу в сетях LoRaWAN. Сборник трудов 40-й междисциплинарной школы-конференции ИППИ РАН «Информационные технологии и системы 2016». 2016. С. 688–694.

Дао Ч.Н. Модели концентрации трафика M2M и оценка его влияния на QOS в сетях 5G. Ч.Н. Дао, А.И. Парамонов. Электросвязь. – 2018. – № 4. – С. 47–54.

Кучерявый А.Е. Сети связи общего пользования. А.Е. Кучерявый, А.И. Парамонов, Е.А. Кучерявый. Тенденции развития и методы расчёта. ФГУП ЦНИИС, 2008.

Кучерявый А.Е. Тактильный интернет. А.Е. Кучерявый, А.И. Выборнова. Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании сборник научных статей V международной научно-технической и научно-методической конференции. – 2016. – С. 6–11.

Кучерявый А.Е. Самоорганизующиеся сети. А.Е. Кучерявый, А.В. Прокопьев, Е.А. Кучерявый. – СПб: Любавич, 2011. – 312 с.

Мутханна А.С. Сравнительный анализ протоколов маршрутизации *gri* и *aadv*. А.С. Мутханна, А.В. Прокопьев, А.Е. Кучерявый. Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. II-я международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. научных статей. Под ред. Доценко С.М. – СПб.: СПбГУТ, 2013. – С. 16–171.

МСЭ-Т, Y-2060, Глобальная информационная инфраструктура, аспекты протокола интернет и сети последующих поколений. – Сектор стандартизации электросвязи МСЭ, 06/2012.

Махмуд О.А. Обзор методов передачи данных в устройствах IoT. О.А. Махмуд, Р.В. Киричек. 72-я Всероссийская научно-техническая конференция, посвященная Дню радио — СПб.: СПбГЭУ «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина). – 2017. – С. 174–175.

Хуссейн О.А. Анализ влияния технологий D2D на функционирование беспроводных сетей связи. О.А. Хуссейн, А.И. Парамонов. Информационные технологии и телекоммуникации. – 2018. – Т. 6. № 2. – С. 79–86.

К.С. Чезимбаева, М.Ж. Батырова Ақылды үйді модельдеу үшін деректер желісіне (IoT) жасанды интеллект ісерін зерттеу. NEWS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN PHYSICS AND INFORMATION TECHNOLOGY SERIES ISSN 1991-346X Volume 1, Number 341 (2022), 107–116 <https://doi.org/10.32014/2022.2518-1726.122>.

<http://www.rfwireless-world.com/Terminology/LoRa-technology-basics.html>.

<http://info.link-labs.com/lpwan>.

REFERENCES

Bankov Dmitry, Khorov Evgeny, Lyakhov Andrey. LoRaWAN Modeling and MCS Allocation to Satisfy Heterogeneous QoS Requirements // Sensors. 2019. Vol. 19, no. 19. Pp. 1–23.

Babayev A.A., Bankov D.V., Khorov E.M. Analysis of the effectiveness of the channel access method in LoRaWAN networks. Proceedings of the 40th Interdisciplinary school-conference of IPPI RAS "Information technologies and Systems 2016", 2016. Pp. 688–694 (in Russ).

Dao, Ch.N. M2M traffic concentration models and estimation of the impact on QOS in 5G networks. Ch.N. Dao, A.I. Paramanov. Telecommunications. – 2018. – № 4. – Pp. 45–54 (in Russ).

Kucheryavyy A.E. Public communication networks. A.E. Kucheryavyy, A.I. Paramanov, E.A. Kucheryavyy. Development trends and calculation methods. FSUE TSNIIS, 2008 (in Russ).

Kucheryavyy A.E. Tactile Internet. A.E. Kucheryavyy, A.I. Vybornova. Actual problems of information and communication science and an educated collection of scientific articles

of the V Interstate Scientific-technical and scientific- methodical conference. – 2016. – Pp.6-11 (in Russ).

Kucheryavyi A.E. Self-organizing networks. A.E. Kucheryavyi, A.V. Prokopyev, E.A. Kucheryavyi. — St. Petersburg: Lyubavich, 2011. — 312 p (in Russ).

Khussein O.A. Analysis of the impact of B2B technologies on the functioning of wireless communication networks. O.A. Khussein, A.I. Paramanov. Information technology and telecommunications. – 2018. – Vol. 6. No. 2. – Pp. 79-86 (in Russ).

Mutkhanna A.S. Comparative analysis of rpl and aodv routing protocols. A.S. Mutkhanna, A.V. Prokopyev, A.E. Kucheryavyi. Actual problems of information and communication science and education. II-th international scientific-technical and scientific-methodical conference: collection of scientific articles. Edited by Docenko S.M. – St. Petersburg: SPbGUT, 2013. - Pp. 16 – 171 (in Russ).

Makhmud O.A. Overview of data transmission methods in IoT devices. O.A. Makhmud, R.V. Kirichek // 72nd All-Russian Scientific and Technical Conference dedicated to the Radio Day – STDs. SPbGEU "LETI" named after V. I. Ulyanov (Lenin). – 2017. – Pp. 174 –175 (in Russ).

ITU-T, Y-2060, Global information infrastructure, aspects of the Internet protocol and next-generation networks. –ITU Telecommunication Standardization Sector, 06/2012 (in Russ).

K.S. Chezhimbayeva, M.Zh. Batyrova Study of Artificial Intelligence in Internet of Data (IOT) for Smart Home Modeling. NEWS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN PHYSICS AND INFORMATION TECHNOLOGY SERIES ISSN 1991-346X Volume 1, Number 341 (2022),107–116 <https://doi.org/10.32014/2022.2518-1726.122>.

<http://www.rfwireless-world.com/Terminology/LoRa-technology-basics.html>.

<http://info.link-labs.com/lpwan>.

МАЗМҰНЫ

А.С.Ақанова, А.А.Макашев, С.А. Наурызбаева, Н.Н.Оспанова ИНТЕРНЕТТЕН ТАҚЫРЫП БОЙЫНША ДЕРЕКТЕРДІ АЛУЫН МОДЕЛДЕУ.....	5
Ж.С. Авкурова, С.А. Гнатюк, Б.К. Абдураимова, Л.М. Кыдыралина КИБЕРКЕҢІСТІКТЕГІ АРТ-ШАБУЫЛДАРДЫ ЕРТЕ АНЫҚТАУ ЖӘНЕ БҰЗУШЫЛАРДЫ СӘЙКЕСТЕНДІРУ ҮШІН ЭТАЛОН МОДЕЛЬДЕРІ АНЫҚТАУШЫ ЕРЕЖЕЛЕР.....	19
М.А. Болатбек, К.Б. Багитова, Ш.Ж. Мусиралиева КИБЕРҚАУІПСІЗДІК МӘСЕЛЕЛЕРІН ТАБИҒИ ТІЛДІ ӨНДЕУ ӘДІСТЕРІ АРҚЫЛЫ ШЕШУ ТАҚЫРЫБЫНА ЖҮЙЕЛІК ШОЛУ.....	52
А.К. Жумадиллаева, М.Д. Кабибуллин, Б.Б. Оразбаев, К.Н. Оразбаева, Ж.Н. Тулеуов КАТАЛИТИКАЛЫҚ РИФОРМИНГ ҚОНДЫРҒЫСЫ РИФОРМИНГТЕУ РЕАКТОРЛАРЫ ЖҰМЫС РЕЖИМДЕРІН КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛЬДЕУ НЕГІЗІНДЕ ОПТИМИЗАЦИЯЛАУ.....	71
Ж.Д. Изтаев, Г.Т. Джусупбекова, Г.К. Ордабаева УНИВЕРСИТЕТ ҮШІН АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК ҚАТЕРЛЕРІНІҢ ЖЕКЕ МОДЕЛІН ӨЗІРЛЕУ.....	91
Ж.С. Каженова, Ж.Е. Кенжебаева, А.М. Прудник MQTT (ТЕЛЕМЕТРИЯ ХАБАРЛАМАЛАРЫ КЕЗЕГІН ТАСЫМАЛДАУ) ХАТТАМАСЫНЫҢ ҚАУІПСІЗДІК МЕХАНИЗМДЕРІ.....	117
А.Ж. Картбаев, Г.С. Ыбытаева, О.Ж. Мамырбаев, К.Ж. Мухсина, Б.Ж. Жумажанов АВТОМАТТЫ ҚЫЛМЫС ОНТОЛОГИЯСЫН ҚҰРУ ҮШІН ҚЫЛМЫС ЖАҒАЛЫҚТАРЫНДА СУБЪЕКТИЛЕРДІ ФОРМАЛЬДЫ КӨРСЕТУ ӘДІСТЕРІ.....	136
А.Т. Мазақова, Қ.Б. Бегалиева, Т.Ж. Мазаков, Ш.А. Жомартова, Г.З. Зиятбекова КВАДРАТ ҚИМАСЫ БАР ӨЗЕКШЕНІҢ ЖЫЛУ ӨТКІЗГІШТІК ТЕҢДЕУІН ҚАРАПАЙЫМ ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ТЕҢДЕУЛЕР ЖҮЙЕСІНЕ ҚОЮ АРҚЫЛЫ ШЕШУ.....	153

- Ж.Ж. Молдашева, Б.Б. Оразбаев, Б.У. Асанова, С.Ш. Исакова,
К.Н. Оразбаева**
МҮНАЙ ҚҰБЫРЫ АГРЕГАТТАРЫНЫҢ ЖҰМЫС РЕЖИМДЕРІН
БАСҚАРУ ҮШІН ЭВРИСТИКАЛЫҚ ТӘСІЛ ҚҰРУ.....,164
- А.Б. Мименбаева, А.С. Аканова**
СОЛТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН ОБЛЫСЫНЫҢ АУЫЛШАРУАШЫЛЫҒЫ
ДАҚЫЛДАРЫНЫҢ КҮЙІН NDVI СЫЗЫҚТЫҚ ТРЕНДТЕРІ
АРҚЫЛЫ ЗЕРТТЕУ.....185
- М.О. Ногайбаева, Б. Ахметов, Дж.Дж. Расулзаде, Е.А. Максум,
С. Рустамов**
U-NET КОНВОЛЮЦИЯЛЫҚ НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІ НЕГІЗІНДЕ
ТОПОЛОГИЯЛЫҚ ОҢТАЙЛАНДЫРУДЫҢ ЕСЕПТЕУ ПРОЦЕСІН
ЖЕДЕЛДЕТУ.....198
- Г.Б. Туребаева, А.К. Сыздықов, А.Р. Тенчурина, Ж.Б. Дошакова**
ҚОЛДАНБАЛЫ БАҒДАРЛАМАЛАРДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП
ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ТЕНДЕУЛЕРДІ ШЕШУДІҢ САНДЫҚ
ӘДІСТЕРІ.....214
- К.С. Чезимбаева, А.Н. Хайруллина**
LORA ҚАБЫЛДАҒЫШ/ТАРАТҰЫШЫНЫҢ ӨНІМДІЛІГІН
БАҒАЛАУ.....228
- А.Г. Шаушенова, А.А. Нурпейсова, Ж.С. Муталова,
Д.Б. Досалянов, М.Б. Онгарбаева**
ҚАШЫҚТЫҚТАН ОҚЫТУДА БІЛІМ АЛУШЫНЫ
ИДЕНТИФИКАЦИЯЛАУ ЖӘНЕ БЕЙНЕМОНИТОРИНГТЕУ
ШЕТЕЛДІК ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ.....247
- К. Якунин, Р.И. Мухамедиев, М. Елис, Я. Кучин, Н. Юничева,
А. Сымагулов, Е. Мухамедиева**
КОВИД-19 ПАНДЕМИЯСЫ ТАҚЫРЫП БОЙЫНША ҚАЗАҚСТАН
РЕСПУБЛИКАСЫ БАҚ БАСЫЛЫМДАРЫНЫҢ ТАҚЫРЫПТЫҚ
КЛАСТЕРЛЕРІН ТАЛДАУ.....260

СОДЕРЖАНИЕ

А.С. Аканова, А.А. Макашев, С.А. Наурызбаева, Н.Н. Оспанова МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМАТИЧЕСКОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ДАННЫХ ИЗ ИНТЕРНЕТА.....	5
Ж.С. Авкурова, С.А. Гнатюк, Б.К. Абдураимова, Л.М. Кыдыралина МОДЕЛИ ЭТАЛОНОВ И ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПРАВИЛА ДЛЯ СИСТЕМРАННЕГО ВЫЯВЛЕНИЯ АРТ-АТАКИ ИДЕНТИФИКАЦИИ НАРУШИТЕЛЕЙ В КИБЕРПРОСТРАНСТВЕ.....	19
М.А. Болатбек, К.Б. Багитова, Ш.Ж. Мусиралиева СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ТЕМЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА.....	52
А.К. Жумадиллаева, М.Д. Кабибуллин, Б.Б. Оразбаев, К.Н. Оразбаева, Ж.Н. Тулеуов ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ РЕАКТОРОВ РИФОРМИНГА УСТАНОВКИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	71
Ж.Д. Изтаев, Г.Т. Джусупбекова, Г.К. Ордабаева РАЗРАБОТКА ЧАСТНОЙ МОДЕЛИ УГРОЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ УНИВЕРСИТЕТА.....	91
Ж.С. Каженова, Ж.Е. Кенжебаева, А.М. Прудник МЕХАНИЗМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОТОКОЛА MQTT (ТРАНСПОРТ ТЕЛЕМЕТРИИ ОЧЕРЕДИ СООБЩЕНИЙ).....	117
А.Ж. Картбаев, Г.С. Ыбыгаева, О.Ж. Мамырбаев, К.Ж. Мухсина, Б.Ж. Жумажанов МЕТОДЫ ФОРМАЛЬНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СУЩНОСТЕЙ В КРИМИНАЛЬНЫХ НОВОСТЯХ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОСТРОЕНИЯ ОНТОЛОГИИ ПРЕСТУПЛЕНИЙ.....	136
А.Т. Мазакова, К.Б. Бегалиева, Т.Ж. Мазаков, Ш.А. Жомартова, Г.З. Зиятбекова РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СТЕРЖНЯ С КВАДРАТНЫМ СЕЧЕНИЕМ ПРИВИДЕНИЕМ К СИСТЕМЕ ОБЫКНОВЕННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ.....	153

Ж.Ж. Молдашева, Б.Б. Оразбаев, Б.У. Асанова, С.Ш. Искакова, К.Н. Оразбаева РАЗРАБОТКА ЭВРИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ АГРЕГАТОВ НЕФТЕПРОВОДА.....	164
А.Б. Мименбаева, А.С. Аканова ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР СЕВЕРО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ ПО ЛИНЕЙНЫМ ТРЕНДАМ NDVI.....	185
М.О. Ногайбаева, Б. Ахметов, Дж.Дж. Расулзаде, Е.А. Максум, С. Рустамов УСКОРЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ U-NET.....	198
Г.Б. Туребаева, А.К. Сыздыков, А.Р. Тенчурина, Ж.Б. Дошаков ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ.....	214
К.С. Чежимбаева, А.Н. Хайруллина ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКА LORA.....	228
А.Г. Шаушенова, А.А. Нурпейсова, Ж.С. Муталова, Д.Б. Досалянов, М.Б. Онгарбаева ОСОБЕННОСТИ ЗАРУБЕЖНЫХ СИСТЕМ ВИДЕОМОНИТОРИНГА И ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ В ДИСТАНЦИОННОМ ОБУЧЕНИИ.....	247
К. Якунин, Р.И. Мухамедиев, М. Елис, Я. Кучин, А. Сымагулов, Н. Юничева, Е. Мухамедиева АНАЛИЗ ТЕМАТИЧЕСКИХ КЛАСТЕРОВ ПУБЛИКАЦИЙ СМИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН ПО ТЕМЕ ПАНДЕМИИ COVID-19.....	260

CONTENTS

A.S. Akanova, A.A. Makashev, C.A. Наурызбаева, N.N. Ospanova MODELING OF THEMATIC DATA EXTRACTION FROM THE INTERNET.....	5
Zh. Avkurova, S. Gnatyuk, B. Abduraimova, L. Kydyralina MODELS OF STANDARDS AND GOVERNING RULES FOR THE SYSTEMS OF EARLY DETECTION OF APT-ATTACKS AND IDENTIFICATION OF VIOLATORS IN CYBERSPACE.....	19
M. Bolatbek, K. Bagitova, Sh. Musiralieva A SYSTEMATIC REVIEW ON CYBERSECURITY ISSUES USING NATURAL LANGUAGE PROCESSING TECHNIQUES.....	52
A. Zhumadillayeva, M. Kabibullin, B. Orazbayev, K. Orazbayeva, Zh. Tuleuov OPTIMIZATION OF THE OPERATING MODES OF THE REFORMING REACTORS OF THE CATALYTIC REFORMING UNIT BASED ON COMPUTER MODELING.....	71
Zh.D. Iztayev, G.T. Dzhusupbekova, G.K. Ordabaeva DEVELOPMENT OF A PRIVATE MODEL OF INFORMATION SECURITY THREATS FOR THE UNIVERSITY.....	91
Zh.S. Kazhenova, Zh.E. Kenzhebayeva, A.M. Prudnik SECURITY MECHANISMS OF PROTOCOL MQTT (MESSAGE QUEUEING TELEMETRY TRANSPORT).....	117
A.Zh. Kartbayev, G.S. Ybytayeva, O.Zh. Mamyrbayev, K.Zh. Mukhsina, B.Zh. Zhumazhanov METHODS FOR FORMAL REPRESENTATION OF ENTITIES IN CRIME NEWS FOR AUTOMATIC CRIME ONTOLOGY CONSTRUCTION.....	136
A.T. Mazakova, K.B. Begaliyeva, T.Zh. Mazakov, Sh.A. Jomartova, G.Z. Ziyatbekova SOLUTION OF THE THERMAL CONDUCTIVITY EQUATION OF A ROD WITH A SQUARE SECTION BY CASTING TO A SYSTEM OF ORDINARY DIFFERENTIAL EQUATIONS.....	153

Zh. Moldasheva, B. Orazbayev, B. Assanova, Sh. Iskakova, K. Orazbayeva OPTIMIZATION OF OPERATION MODES OF REFORMING REACTORS OF A CATALYTIC REFORMING UNIT ON THE BASIS OF COMPUTER MODELING.....	164
A.B. Mimenbayeva, A.C. Akanova RESEARCH OF THE STATE OF AGRICULTURAL CROPS NORTH KAZAKHSTAN REGION ACCORDING TO LINEAR NDVI TRENDS.....	185
M. Nogaibayeva, B. Akhmetov, J. Rasulzade, Y. Maksun, S. Rustamov ACCELERATION OF THE COMPUTATIONAL PROCESS OF TOPOLOGICAL OPTIMIZATION BASED ON THE CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK U-NET.....	198
G. Turebaeva, A. Syzdykov, A. Tenchurina, J. Doshakov NUMERICAL METHODS FOR SOLVING DIFFERENTIAL EQUATIONS USING APPLICATION PROGRAMS.....	214
K.S. Chezimbayeva, A.N. Khairullina EVALUATION OF LORA TRANSCEIVER PERFORMANCE.....	228
A.G. Shaushenova, A.A. Nurpeisova, Z.S. Mutalova, D.B. Dosalyanov, M.B. Ongarbaeva FEATURES OF FOREIGN SYSTEMS OF VIDEO MONITORING AND IDENTIFICATION OF STUDENTS IN DISTANCE LEARNING.....	247
K. Yakunin, R.I. Mukhamediev, M. Elis, Ya. Kuchin, N. Yunicheva, A. Symagulov, E. Mukhamedieva ANALYSIS OF THEMATIC CLUSTERS OF KAZAKHSTAN MEDIA PUBLICATIONS ON THE TOPIC OF THE COVID-19 PANDEMIC.....	260

**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)

Директор отдела издания научных журналов НАН РК *А. Ботанқызы*

Заместитель директор отдела издания научных журналов НАН РК *Р. Жәліқызы*

Редакторы: *М.С. Ахметова, Д.С. Аленов*

Верстка на компьютере *Г.Д. Жадыранова*

Подписано в печать 15.09.2022.

Формат 60x88/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.

17,5 п.л. Тираж 300. Заказ 3.