

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

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ
әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

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

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
Al-Farabi
Kazakh National University

SERIES
PHYSICO-MATHEMATICAL

1 (335)

JANUARY – FEBRUARY 2021

PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK

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

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

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

Б а с р е д а к т о р ы
ф.-м.ғ.д., проф., ҚР ҰҒА академигі
Ғ.М. Мұтанов

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

Асанова А.Т. проф. (Қазақстан)
Бошкаев К.А. PhD докторы (Қазақстан)
Байгунчеков Ж.Ж. проф., академик (Қазақстан)
Quevedo Hernando проф. (Мексика)
Жүсіпов М.А. проф. (Қазақстан)
Ковалев А.М. проф., академик (Украина)
Калимолдаев М.Н. проф., академик (Қазақстан)
Михалевич А.А. проф., академик (Белорусь)
Мырзакулов Р. проф., академик (Қазақстан)
Рамазанов Т.С. проф., академик (Қазақстан)
Такибаев Н.Ж. проф., академик (Қазақстан), бас ред. орынбасары
Тигиняну И. проф., академик (Молдова)
Уалиев З.Г. проф., чл.-корр. (Қазақстан)
Харин С.Н. проф., академик (Қазақстан)

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Физика-математикалық сериясы».

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

Меншіктенуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (Алматы қ.).

Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникациялар министрлігінің Ақпарат комитетінде
14.02.2018 ж. берілген № 16906-Ж мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: *физика-математика ғылымдары және ақпараттық
технологиялар саласындағы басым ғылыми зерттеулерді
жариялау.*

Мерзімділігі: жылына 6 рет.

Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекенжайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28; 219, 220 бөл.;

тел.: 272-13-19; 272-13-18,

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

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2021

Типографияның мекенжайы: «NurNaz GRACE», Алматы қ., Рысқұлов көш., 103.

Главный редактор
д.ф.-м.н., проф. академик НАН РК
Г.М. Мутанов

Редакционная коллегия:

Асанова А.Т. проф. (Казахстан)
Бошкаев К.А. доктор PhD (Казахстан)
Байгунчеков Ж.Ж. проф., академик (Казахстан)
Quevedo Hernando проф. (Мексика)
Жусупов М.А. проф. (Казахстан)
Ковалев А.М. проф., академик (Украина)
Калимолдаев М.Н. проф., академик (Казахстан)
Михалевич А.А. проф., академик (Беларусь)
Мырзакулов Р. проф., академик (Казахстан)
Рамазанов Т.С. проф., академик (Казахстан)
Такибаев Н.Ж. проф., академик (Казахстан), зам. гл. ред.
Тигиняну И. проф., академик (Молдова)
Уалиев З.Г. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Харин С.Н. проф., академик (Казахстан)

«Известия НАН РК. Серия физика-математическая».

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

Собственник: РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы).

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и коммуникаций Республики Казахстан № 16906-Ж, выданное 14.02.2018 г.

Тематическая направленность: *публикация приоритетных научных исследований в области физико-математических наук и информационных технологий.*

Периодичность: 6 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28; ком. 219, 220; тел.: 272-13-19; 272-13-18,
<http://physics-mathematics.kz/index.php/en/archive>

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2021

Адрес типографии: «NurNaz GRACE», г. Алматы, ул. Рыскулова, 103.

Editor in chief

doctor of physics and mathematics, professor, academician of NAS RK

G.M. Mutanov

Editorial board:

Asanova A.T. prof. (Kazakhstan)

Boshkayev K.A. PhD (Kazakhstan)

Baigunchekov Zh.Zh. prof., akademik (Kazakhstan)

Quevedo Hemando prof. (Mexico)

Zhusupov M.A. prof. (Kazakhstan)

Kovalev A.M. prof., academician (Ukraine)

Kalimoldaev M.N. prof., akademik (Kazakhstan)

Mikhalevich A.A. prof., academician (Belarus)

Myrzakulov R. prof., akademik (Kazakhstan)

Ramazanov T.S. prof., akademik (Kazakhstan)

Takibayev N.Zh. prof., academician (Kazakhstan), deputy editor in chief.

Tiginyanu I. prof., academician (Moldova)

Ualiev Z.G. prof., chl.-korr. (Kazakhstan)

Kharin S.N. prof., academician (Kazakhstan)

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 Communications of the Republic of Kazakhstan **No. 16906-Ж**, issued on 14.02.2018.

Thematic scope: *publication of priority research in the field of physical and mathematical sciences and information technology.*

Periodicity: 6 times a year.

Circulation: 300 copies.

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19; 272-13-18,

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

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2021

Address of printing house: «NurNaz GRACE», 103, Ryskulov str, Almaty.

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 1, Number 335 (2021), 81 – 89

<https://doi.org/10.32014/2021.2518-1726.12>

UDC 621.396.93:614.8

MRNTI 47.09.53

**Ж. С. Абдимуратов¹, Ж. Д. Манбетова¹, М. Н. Иманкул²,
К. С. Чежимбаева¹, А. Ж. Сагындикова¹**

¹ Алматинский университет энергетики и связи им. Гумарбека Даукеева, Алматы, Казахстан;

² Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилёва, Нур-Султан, Казахстан.

E-mail: a.sagyndikova@auces.kz

СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ АППАРАТУРЫ СОТОВОЙ (МОБИЛЬНОЙ) СВЯЗИ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Аннотация. При электромагнитных воздействиях (ЭМВ) достаточного уровня возможно временное нарушение функционирования, нарушение обработки, передачи и хранения информации в аппаратуре сотовой связи. Рассмотрены возможные проблемы электромагнитной совместимости (ЭМС) мобильного телефона и базовой станции (БС) сотовой связи при воздействии электромагнитных излучений (ЭМИ) от других источников и их негативное влияние на функционирование. Энергия высокой частоты (ВЧ) электромагнитного поля (ЭМП) после прохождения защитного корпуса может оказывать воздействие на приборы экранированной радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), поэтому описаны возможные отрицательные последствия от воздействия высокоэнергетических ЭМП на РЭА. Приведены возможные при определенных условиях негативные последствия от влияния скин-эффекта, воздействий электростатического разряда и электромагнитных импульсов на электронные устройства. Показано, что конструкционный метод защиты РЭА от влияний внешних электромагнитных факторов состоит в снижении собранной и переданной энергии ЭМП путем улучшения конструкции, размещения и монтажа оборудования. Приведены компоненты некоторых вендоров для систем 5G, устойчивые к внешним помехам, а также отмечены возможности снижения уровня излучения сотового телефона. Обоснована необходимость комплексного подхода к решению проблем ЭМС, состоящего в использовании конструкционных, схмотехнических и структурно-функциональных методов обеспечения ЭМС. Стартовой площадкой для запуска систем связи следующего поколения станут существующие сети 2G/3G/4G. Инфраструктура мобильных операторов должна быть готова к внедрению стандарта 5G. Общая структура сети связи следующего поколения 5G показана на рисунке. Она включает в себя три уровня: сеть доступа; фиксированную сеть; интеллектуальную сеть.

Новый стандарт 5G (Fifth Generation) будет работать на более высоких рабочих частотах, по сравнению с предыдущими поколениями. Из-за загруженности электромагнитного спектра на частотах ниже 6 ГГц базу сетей 5G будут составлять системы беспроводного радиодоступа, работающие на частотах 30–100 ГГц, то есть в нижней полосе диапазона экстремально высоких частот EHF (Extremely High Frequency), 30–300 ГГц.

Ключевые слова: базовая станция, сотовый телефон, электромагнитная совместимость, электромагнитные воздействия, электромагнитные помехи, электромагнитные поля.

Введение. Функционирование средств сотовой связи сегодня происходит в условиях сложной сигнально-помеховой обстановки, обусловленной ростом количества излучающих радиоэлектронных средств и преднамеренных помех [1]. Анализ современного уровня эволюции беспроводной связи свидетельствует о том, что возможно появление локальных областей со сложной ЭМО, которая обусловлена различными техногенными событиями. Проблемы электромагнитной стойкости аппаратуры сотовой связи актуальны в связи с ее расширяющимися возможностями (одновременно с ее значительным усложнением), а также с тем, что все больше функций выполняются с использованием изделий микроэлектроники, IT-оборудования, вычислительной техники. За период эксплуатации оборудования сотовой связи могут происходить изменения электромагнитной обстановки (ЭМО), в которой функционирует РЭА, могут появиться изменения условий

помехоустойчивости из-за внедрения новых технологий или реализованной модернизации аппаратуры.

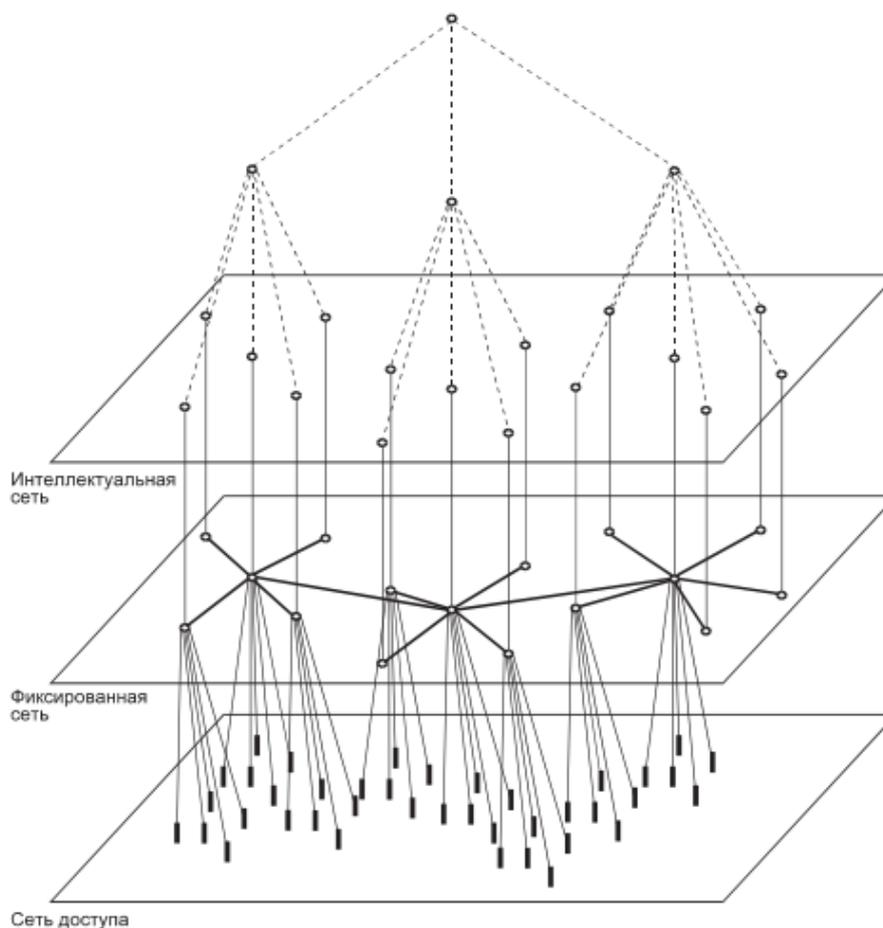
На данный момент Международная электротехническая комиссия (МЭК) определяет ЭМС как способность оборудования или системы удовлетворительно работать в данной ЭМО без внесения в нее какого-либо недопустимого электромагнитного возмущения.

При облучении внешним ЭМП аппаратура сотовой связи должна функционировать в штатном режиме и отвечать требованиям электромагнитной стойкости и безопасности эксплуатации в условиях воздействия электромагнитных факторов различного происхождения.

Основная часть. Радиопередатчики базовой станции излучают электромагнитные волны через передающие антенны в окружающую среду в целях передачи информации, поэтому они служат функциональными источниками помех. Аппаратура БС сотовой связи может быть подвержена влиянию внешних ЭМВ, в результате это проявляется в виде сбоев или нарушений их работоспособности. Учитывая роль сотовой связи в повседневной жизни в ее системы (устройства, электронные компоненты), необходимо заложить способность эффективно работать при мощных электромагнитных волнах (ЭМВ). Наложение излучений разных стандартов (2G-4G) и радиотехнологий с разными вариантами частот и модуляции сигналов, относящихся к разным поколениям, формирует многочастотный спектральный состав радиоизлучений в окружающей среде.

Совершенствование систем мобильной связи приводит к развитию новых возможностей при приеме, обработке и передаче информации. Данный процесс усложняет составные части систем мобильной связи.

Стартовой площадкой для запуска систем связи следующего поколения станут существующие сети 2G/3G/4G. Инфраструктура мобильных операторов должна быть готова к внедрению стандарта 5G. Общая структура сети связи следующего поколения 5G показана на рисунке. Она включает в себя три уровня: сеть доступа; фиксированную сеть; интеллектуальную сеть.



Архитектура сети 5G

Наиболее интенсивно для сотовой мобильной связи сейчас используются диапазоны УВЧ, СВЧ и активно осваивается диапазон миллиметровых волн КВЧ (таблица). Разработки вопросов следующего поколения беспроводной связи 6G стартовали с вопросами пропускной способности, обеспечения кибербезопасности передаваемой информации, ценовой конкурентноспособности услуг по сопоставлению с предыдущим. Беспроводная связь субтерагерцового диапазона волн 90300 ГГц обладает быстрым действием.

Используемые диапазоны частот для действующих и перспективных систем мобильной связи

UHF	SHF	EHF	THF
Ультравысокие (УВЧ)	Сверхвысокие(СВЧ)	Крайне высокие (КВЧ)	Гипервысокие
100 см – 1 см		10–0,1 мм	
300–3000	3–30	30–300	300–3000
МГц	ГГц		

Новый стандарт 5G (Fifth Generation) будет работать на более высоких рабочих частотах, по сравнению с предыдущими поколениями. Из-за загруженности электромагнитного спектра на частотах ниже 6 ГГц базу сетей 5G будут составлять системы беспроводного радиодоступа, работающие на частотах 30-100 ГГц, то есть в нижней полосе диапазона экстремально высоких частот EHF (Extremely High Frequency), 30-300 ГГц. Большими ресурсами пропускной способности, обеспечивающими: достижение высокой скорости передачи данных; транзитную передачу со скоростями более 100 Гбит/с; общедоступные киоски доступа в Интернет с расширенными возможностями; технологию прямой связи между устройствами D2D communications (Device-to-Device) малой дальности.

Переход рабочих частот аппаратуры в гигагерцовую область вызывает потенциальную уязвимость аппаратуры от внешних ЭМВ и требует более тщательного подхода к проектированию конструкции: следует снизить проникновение ЭМП через возможные апертуры в корпусе аппаратуры, а также не допускать распространения излучаемых ЭМП в процессе работы аппаратуры во внешнюю среду [2]. С этой целью необходимо обеспечивать качественную экранировку корпуса аппаратуры для защиты от переизлучений через всевозможные неоднородности корпуса (щели в стыках сопрягающихся частей, отверстия под соединители, вентиляционные отверстия).

Основными рецепторами, воспринимающими влияние ЭМП, служат соединительные провода, в том числе дорожки печатных плат, на которых наводятся электрические помехи, вызывающие отказы приборов. Непосредственное воздействие ЭМП на электронные компоненты, как правило, не приводит к каким-либо деструктивным эффектам. Обычно сложная ЭМО характеризуется полями с напряженностью 100 В/м и более в диапазоне частот работы современных сетей мобильной связи.

В современных сетях сотовой связи БС управляют выходной мощностью мобильного телефона, который уже давно стал альтернативой компьютеру. При регулировании выходной мощности БС стремится поддерживать уровень принимаемого сигнала от сотового телефона в оптимальных пределах. Уровень излучения телефона будет снижаться до минимального значения, обеспечивающего требуемое качество связи. В работе [3] приводятся краткие сведения о компактном энергоэффективном оборудовании, минимизирующем излучение сотового телефона с 1 Вт (максимальная мощность передатчика современных смартфонов) до 1 мВт и не требующем никаких дополнительных приложений и настроек. В данную систему входит: приемная антенна, устанавливаемая внутри помещения; блок усиления-переизлучения и узконаправленная передающая антенна, расположенная вне предела помещения.

Важным показателем производительности антенны мобильного телефона служит ее усиление в направлении БС. Ориентация телефона и направление на башню БС могут существенно различаться, телефон должен иметь возможность излучать с максимальной интенсивностью в любом направлении [4]. В технологиях 1G-4G основной луч БС рассеивался в пространстве и устройства работали на «энергии рассеяния». В антенном модуле мобильного телефона 5G устанавливается активная фазированная решетка, формирующая «луч» (складываемый из нескольких), сфокусированный непосредственно на приемном устройстве. Управление диаграммой направленности

данной антенной решетки возможно, если измерить эквивалентную изотропно-излучаемую мощность EIRP (Equivalent Isotropical Radiated Power) по всем возможным направлениям. EIRP – коэффициент усиления мощности передающей антенны в определенном направлении, на которую умножается мощность, поступающая в антенну с передатчика.

В диапазоне миллиметровых частот от 30 до 300 ГГц потери в тракте передачи должны быть компенсированы высоким коэффициентом усиления антенны, интегрированной в передающий блок. Архитектура передающей антенны с множественными передающими элементами минимизирует толщину антенны, сохраняя при этом стабильность коэффициента усиления антенны во всей полосе пропускания и управляя уровнями боковых лепестков. Для соединения сетевых систем 5G разрабатываются фотонные компоненты и радиочастотные фильтры [5].

Антенна PA740 компании Taoglas обладает расширенной полосой частот LTE (Long Term Evolution) и новыми диапазонами, обеспечивающими функциональность 5G (высокую производительность и надежность, точное позиционирование, отслеживание местоположения и пр.) [6]. Возможность точного высокоскоростного подключения, малого времени ожидания, стабильной передачи данных и вычислений в реальном времени зависит от надежности антенны. Корпорация Skyworks разработала переключатель настройки апертуры 5G-антенны – SKY5TM-9269-702LF, имеющий размеры 1,6x1,6x0,45 мм и очень низкое значение сопротивления во включенном состоянии (1,4 Ом), способный переносить типичное напряжение тока в 80 В [7].

Как правило, корпус РЭА изготавливается из металла, в связи с этим он выполняет роль защиты, снижающую уровень поля, проникающего внутрь устройства. Непрерывность корпуса по всему объему занимаемой аппаратуры (при толщине от 1 мм и более) обеспечивает уменьшение напряженности вторичных ЭМП внутри корпуса до значения, гарантирующего отсутствие сбоев в функционировании РЭА. Поле, проникающее в устройство, воздействует на электронные компоненты и соединительные провода. Критичным фактором, нарушающим функционирование РЭА при внешних ЭМВ, служит энергия ЭМП, способная приводить к возникновению токов и напряжений в чувствительных компонентах, достаточных для возникновения структурного разрушения или сбоев типовых электрических (конденсаторы, резисторы и т.д.) и электронных компонентов, в том числе изделий с высокоинтегрированной электронной компонентной базой (микропроцессоры, системы на кристалле и другие). Для типовых компонентов необратимые отказы возникают, если уровень аккумулированной энергии внутри корпуса достигнет значений 10^{-4} – 10^{-7} Дж [8]. С целью снижения опасности для чувствительных элементов по возможности необходимо обеспечить дополнительную локальную защиту от энергии ЭМП посредством внутренних металлических корпусов, содержащих эти элементы.

Скин-эффект, возрастающий с ростом частоты в ВЧ диапазоне воздействующего излучения, может значительно снизить прошедшее через корпус ЭМП. Но его влияние значительно только при квазистационарном условии, когда длина волны воздействующего излучения много больше размеров корпуса [9]. На резонансных частотах эффективность экранирования снижается, прошедшее через корпус ЭМП не будет существенно ослабляться с ростом частоты. Определяющим моментом здесь служит соизмеримость длины волны с характерными размерами корпуса. В данном случае влияние скин-эффекта будет перекрываться резонансными процессами, приводящими к снижению или росту экранирующего эффекта корпуса с увеличением частоты.

Электростатический разряд (ЭСР) – источник излучаемых электромагнитных помех в виде импульсных электрического и магнитного полей, представляющих опасность для интегральных микросхем (ИМС) и полупроводниковых приборов (ППП) [10]. ЭСР могут возникать вблизи ИМС и ППП на дистанциях, соизмеримых с длиной канала разряда. При этом величина значений излучаемых электромагнитных помех могут достигать значительных уровней и индуцировать на внутренней металлизации ИМС и ППП напряжения и токи, при которых происходит деградация функциональных характеристик или необратимые изменения, провоцирующие отказ. ЭСР может происходить в пространстве между: неравномерно заряженными участками поверхностей диэлектриков, заряженными участками поверхности или объемными зарядами диэлектрика и электропроводными поверхностями [11].

Воздействие электромагнитных импульсов на электронные устройства при определенных условиях может привести к некоторым эффектам, например [12]:

- отказам некоторых элементов (при высоких уровнях воздействующего ЭМП);

– переходу активных элементов в режим насыщения (вследствие индуцированных в электрических проводниках электромагнитными импульсами помех. После прекращения действия этих помех, компоненты возвращаются в нормальное состояние).

– ошибкам при передаче цифровых данных из-за деградации канала передачи данных при высокой частоте повторения деструктивного воздействия на цифровые устройства. Увеличение частоты повторения помехи может привести к повышению ее средней мощности.

На практике внешние связи между оборудованием могут видоизменяться из-за присутствия экранирующих и диэлектрических материалов, а также взаимного размещения мешающего и восприимчивого оборудования, в особенности кабельных соединений. Заземляющие/экранирующие плоскости или усиливают мешающий сигнал благодаря отражению, или уменьшают его за счет поглощения [13].

Сейчас размеры кристалла ИМС в сотовом телефоне достигли нанометровых топологий, составляющих приблизительно 1–2 мм, размер корпуса – десяток/несколько десятков мм, а размеры печатной платы составляют около 100 мм. Чем плотнее расположены все элементы системы, тем выше удельная производительность в пересчете на единицу энергопотребления. Однако снижение размеров топологических элементов и рост плотности их размещения обостряет существующие проблемы, такие как проблемы теплоотвода, а также влияние крайне малых воздействий – буквально масштаба одного-двух электронов – возрастает очень заметно.

Актуальные флагманские мобильные процессоры – сложные однокристалльные системы, включающие: восемь ядер различной мощности (например: 4 слабых, но энергоэффективных (для решения простых задач, экономия батареи); 4 мощных с повышенными тактовыми частотами (для ресурсоемких задач, например, игры с трехмерной графикой); графический ускоритель; контроллер оперативной памяти; модули беспроводной связи 3G/4G, Wi-Fi, Bluetooth и навигации GPS (Global Positioning Satellite); видеоэнкодер [14]. Современные мобильные SoC (System-on-a-Chip) оснащены ядрами центрального процессора CPU (Central Processing Unit), графическим ускорителем GPU (Graphics Processing Unit), модемом LTE, модулями для иных беспроводных сетей, а во флагманских решениях SoC имеются специализированные вычислительные блоки для работы с задачами искусственного интеллекта и машинного обучения и др.

Таким образом, в аппаратуре сотовой связи появляются ИМС все большей степени интеграции и функциональной сложности, многослойные печатные платы (в том числе платы высокой плотности), усложняется монтаж высокотехнологичной аппаратуры. Поэтому наряду с проблемой обеспечения ЭМС, возникают проблемы обеспечения целостности сигнала (связанные с качеством сигнала в системе) и целостности питания (охватывающие вопросы конструирования системы распределения питания, отвечающей жестким требованиям к целевому полному сопротивлению) [15].

Samsung (Корея) и TSMC (Тайвань) осваивают новые технологические процессы производства мобильных процессоров (7 нм, 5 нм). 5 нм – следующий большой технологический шаг. Это позволит увеличить плотность транзисторов примерно в полтора раза. Меньший, более современный технологический процесс позволяет разработчику вместить больше транзисторов в своём решении, что серьёзно влияет на потенциал производительности, а также позволяет сделать компромисс производительность/энергоэффективность куда более гибким. Новые техпроцессы позволяют сделать решения не только мощнее/энергоэффективнее, но часто ещё и компактнее. Увеличение производительности и быстродействия процессоров дает возможность без проблем загружать более ресурсоемкие приложения [16]. Однако более быстродействующие системы генерируют более высокочастотные помехи.

Типовое мобильное радиоустройство как источник электромагнитных помех излучает поле с пиковым значением напряженности до 100 В/м в диапазоне 1,8–2,0 ГГц в зависимости от его напряжения и расстояния [17]. Оно может наводить высокочастотные помехи на другие электронные устройства, даже если мобильные устройства находятся вне рабочей полосы другого электронного устройства.

При необходимости обеспечить наилучшую защиту электронного устройства от электромагнитных помех требуется проанализировать его показатель EMIRR (*rejection ratio* – коэффициент подавления электромагнитных помех), выраженную в дБ, который является одним из важных параметров, позволяющих определить помехоустойчивость электронного устройства.

Итак, сегодня проблема исследования и обеспечения электромагнитной совместимости систем сотовой связи приобретает актуальность в силу следующих основных причин:

- повышение плотности компоновки электронных, радиоэлектронных и электротехнических систем, а также уменьшение габаритных размеров систем;
- наличие в составе оборудования сотовой связи одновременно устройств, работающих в широком диапазоне частот (до нескольких ГГц), напряжений и токов;
- рост количества ЭМВ в системах сотовой связи, способных нарушать функционирование электронных, радиоэлектронных и электротехнических систем;
- повышение быстродействия и уменьшение уровней сигналов, обрабатываемых цифровыми элементами электронных средств, приводящее к снижению их помехоустойчивости;
- при проведении исследований не в полной мере учитываются реальные условия эксплуатации технических систем, учитывающие ЭМО в местах эксплуатации оборудования.

Общие направления для обеспечения ЭМС включают [18]:

- уменьшение связи источника и рецептора помехи через излучение (в частности, путем экранирования, надлежащей компоновкой);
- уменьшение емкостной и индуктивной связи источника и рецептора электромагнитной помехи;
- применение конструкционных, схмотехнических и структурно-функциональных методов, а также рациональную трассировку кабелей;
- уменьшение гальванической связи источника и приемника помехи.

Конструкционные способы обеспечения ЭМС основаны на рациональном размещении оборудования, экранировании. Схмотехнические методы защиты – целенаправленное изменение структуры отдельных схем или введение в них дополнительных элементов для ослабления электромагнитных влияний на нормальное функционирование. Схмотехнические методы обеспечения ЭМС могут включать, например, использование элементов оптоэлектроники, симметрирование. Структурно-функциональные методы состоят в: применении корректирующих кодов; выборе оптимальной структуры сигнала и т.д. Для снижения гальванической связи наиболее эффективно применение схмотехнических методов обеспечения ЭМС, в частности фильтрации, служащей первым заслоном электромагнитным помехам.

При проектировании топологии интерфейсов/разъемов следует уделять должное внимание характеристикам ЭМС системы в целом. Все устройства должны пройти испытания на ЭМС, которые гарантируют работоспособность в требуемых условиях эксплуатации. Зная предельно допустимые условия эксплуатации системы, можно выявить соответствующие проблемы на ранних этапах проектирования и решить их, не дожидаясь создания опытного образца [19].

Обсуждение. Устройства, основанные на передаче радиосигналов, необходимо рассматривать с точки зрения генерации ими электромагнитных помех и устойчивости самого оборудования к внешнему воздействию излучения от других приборов [20]. Новые поколения БС сотовой связи работают в гигагерцовом диапазоне частот, поэтому важным аспектом становится учет требований по ЭМС при их проектировании и разработке. ЭМС устройств сотовой связи – это их функционирование с требуемыми техническими характеристиками в условиях электромагнитного взаимодействия его технических систем и внешних ЭМВ. Имеет место потенциальная уязвимость РЭА от внешних ЭМВ, обусловленная не только электромагнитным воздействием источника помехи на рецептор, но и их взаимодействием (когда источник параллельно является и приемником). Необходимо разработать различные решения по методам обеспечения ЭМС (например, базовые методы, основанные на фильтрации и экранировании) и оптимизировать проектные решения. Учет «кумулятивного эффекта» при одновременном воздействии помех, ЭМИ радиопередатчиков, других внешних ЭМВ позволит предотвратить сбой в работе аппаратуры сотовой связи.

Выводы. На работу аппаратуры сотовой связи особое влияние оказывают электромагнитные помехи различного происхождения. Радиоэлектронные средства (системы, электронные компоненты, устройства) могут быть как источником, так и рецептором электромагнитных помех, то есть объектом, подвергающимся влиянию ЭМИ другого устройства. Одним из основных звеньев в гарантировании ЭМС аппаратуры служит разработка качественной конструкции оборудования, эффективно экранирующей чувствительные блоки аппаратуры от всех электромагнитных полей и

помех, действующих извне. Экранирующее действие корпуса ограничивается отверстиями, служащими каналами проникновения поля внутрь устройства.

Основные пути проникновения ЭМВ в аппаратуру БС сотовой связи служат: антенные системы, проникновение через корпус и отверстия в корпусе (ЭМП наводятся в линии связи и воздействуют на антенно-фидерные тракты, информационные интерфейсы, цепи электропитания и заземление). Для правильного функционирования системы важен оптимальный выбор компонентов, ограничивающих выбросы напряжения и защищающих входные каскады от ЭСР.

При проектировании конструкции аппаратуры сотовой связи следует снижать проникновение внешних дестабилизирующих ЭМВ (полей излучений соседних радиотехнических средств и передающих устройств, СВЧ-излучений, ЭСР) через всевозможные апертуры в корпусе. Корректная топология печатной платы, экранирование - необходимые условия для соответствия требованиям стандартов ЭМС. Качественное исследование с целью обеспечения ЭМС приведет к возможности добиться требуемых технических характеристик, а также обеспечить соблюдение нормативных документов. ЭМС – совокупность взаимосвязанных проблем (структурно-функциональных, схемотехнических, пр.) комплексного характера. Рассмотренные методы позволяют решать круг задач, связанных с работой аппаратуры сотовой связи в условиях сложной ЭМО. Результаты исследования можно использовать в задачах обеспечения радиоэлектронной борьбы и ЭМС РЭА.

Zh. S. Abdimuratov¹, Zh. D. Manbetova¹, M. N. Imankul², K. S. Chezhimbayeva¹, A. Zh. Sagyndikova¹

¹ Almaty University of Energy and Communications named after Gumarbek Daukeev, Almaty, Kazakhstan;

² Eurasian National University named after L. N. Gumilyov, Nur-Sultan, Kazakhstan

METHODS FOR PROTECTING THE EQUIPMENT OF CELLULAR (MOBILE) CONNECTION FROM ELECTROMAGNETIC IMPACT

Abstract. Under electromagnetic impact (EMI) of a sufficient level, temporary disruption of functioning, processing, transmission and storage of information in cellular equipment is possible. Possible problems of electromagnetic compatibility (EMC) of a mobile phone and a base station (BS) of cellular connection under the influence of electromagnetic radiation (EMR) from other sources and their negative impact on functioning are considered. The energy of the HF electromagnetic field (EMF) after passing through the protective case can affect the devices of shielded radio electronic equipment (REE), therefore, the possible negative consequences of the impact of high-energy EMF on the REE are described. Possible negative consequences under certain conditions from the influence of the skin-effect, the effects of electrostatic discharge and electromagnetic pulses on electronic devices are given. It is shown that the constructional method of protecting REE from the effects of external electromagnetic factors consists in reducing the collected and transmitted EMF energy by improving the design, placement and installation of equipment. Components of some vendors for 5G systems that are resistant to external interference are given, and the possibilities for reducing the radiation level of a cell phone are noted. The necessity of an integrated approach to solving EMC problems is substantiated, which consists in the use of structural, circuitry and structural-functional methods of EMC provision.

The new 5G (Fifth Generation) standard will operate at higher operating frequencies compared to previous generations. Due to the workload of the electromagnetic spectrum at frequencies below 6 GHz, 5G networks will be based on wireless radio access systems operating at frequencies of 30–100 GHz, that is, in the lower band of the extremely high frequency range EHF (Extremely High Frequency), 30–300 GHz.

Key words: base station, cell phone, electromagnetic compatibility, electromagnetic influences, electromagnetic interference, electromagnetic fields.

Ж. С. Абдимуратов¹, Ж. Д. Манбетова¹, М. Н. Иманкул², К. С. Чежимбаева¹, А. Ж. Сагындиқова¹

¹ Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан;

² Л. Н. Гумилёва атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

ҰЯЛЫ (МОБИЛЬДІ) БАЙЛАНЫС АППАРАТУРАСЫН ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ӘСЕРЛЕРДЕН ҚОРҒАУ ТӘСІЛДЕРІ

Аннотация. Ұялы байланыс құралдарында ақпаратты сақтау және таратуда электромагнитті әсерлерден (ЭМӘ) өңдеудің уақытша бұзылуы болуы мүмкін. Ұялы телефонның және ұялы байланыстың базалық станциясының (БС) электромагниттік үйлесімділігінің (ЭМУ) басқа көздерден электромагниттік сәулеленудің

(ЭМС) әсер етуіндегі мүмкін проблемалары және олардың жұмысына теріс әсері қарастырылады. Қорғаныс корпусынан өткеннен кейін электромагниттік өрістің (ЭМӨ) жоғары жиілікті (ЖЖ) энергиясы экрандалған радиоэлектрондық аппаратураның (РЭА) аспаптарына әсер етуі мүмкін, сондықтан РЭА-ға жоғары энергетикалық ЭМӨ әсерінің ықтимал теріс салдары сипатталған. Белгілі бір жағдайларда скин – эффектінің, электростатикалық разряд пен электромагниттік импульстардың электронды құрылғыларға әсер етуінен болатын жағымсыз салдарлар келтірілген. РЭА-ны сыртқы электромагниттік факторлардың әсерінен қорғаудың құрылымдық әдісі жабдықтың құрылымын, орналасуын және орнатылуын жақсарту арқылы жиналған және берілген ЭМӨ энергиясын азайту болып табылады. Сыртқы кедергілерге төзімді 5G жүйелеріне арналған кейбір сатушылардың компоненттері келтірілген, сонымен қатар ұялы телефонның сәулелену деңгейін төмендету мүмкіндігі көрсетілген. ЭМС қамтамасыз етудің құрылымдық, сұлбалық және құрылымдық-функционалдық әдістерін қолданудан тұратын ЭМС мәселелерін шешуге кешенді тәсілдің қажеттілігі негізделген. Ұялы байланыс операторларының инфрақұрылымы 5G стандартын енгізуге дайын болуы тиіс. келесі буын 5G байланыс желісінің жалпы құрылымы суретте көрсетілген. Ол үш деңгейден тұрады: кіру желісі; тіркелген желі; интеллектуалды желі.

Жаңа 5G стандарты (Fifth Generation) алдыңғы буындарға қарағанда жоғары жұмыс жиіліктерінде жұмыс істейді. Электромагниттік спектрдің 6 ГГц жиіліктен төмен жүктелуіне байланысты 5G желілерінің негізі 30-100 ГГц жиіліктерінде жұмыс істейтін сымсыз радио қол жетімділік жүйелері арқылы құрылады, яғни, өте жоғары жиілік диапазонының төменгі жолағында EHF (Extremely high Frequency), 30-300 ГГц.

Түйін сөздер: базалық станция, ұялы телефон, электромагниттік үйлесімділік, электромагниттік әсерлер, электромагниттік кедергі, электромагниттік өрістер.

Information about authors:

Abdimuratov Zhubanyshbay, candidate of Technical Sciences, associate Professor, Almaty University of Energy and Communications named after Gumarbek Daukeev, Almaty, Kazakhstan; zh.abdimuratov@aes.kz; <https://orcid.org/0000-0003-3403-456X>

Manbetova Zhanat, PhD student, Almaty University of Energy and Communications named after Gumarbek Daukeev, Almaty, Kazakhstan; zmanbetova@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6716-4646>

Imankul Manat, candidate of Technical Sciences, associate Professor, Eurasian National University named after L. N. Gumilyov, Nur-Sultan, Kazakhstan; mimankul57@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-7123-1100>

Chezhibayeva Katipa, candidate of Technical Sciences, associate Professor, Almaty University of Energy and Communications named after Gumarbek Daukeev, Almaty, Kazakhstan; Katipa67@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1039-1629>

Sagyndikova Aigul Zhursinkyzy, Associate Professor of the Department of Energy Supply and Renewable Energy Sources (Gumarbek Daukeev Almaty University of Energy and Communications), PhD, Almaty, Kazakhstan; a.sagyndikova@aes.kz; <https://orcid.org/0000-0001-9988-5694>

ЛИТЕРАТУРА

[1] Чельшев В.Д., Якимовец В.В. Зарубежные радиоэлектронные системы наземного и спутникового мобильного радиосервиса. – СПб.: ВАС, 2012. – 338 с.

[2] Кечиев Л.Н., Акбашев Б.Б., Степанов П.В. Экранирование технических средств и экранирующие системы. – М.: ООО «Группа ИДТ», 2010. – 470 с.

[3] Баранов А.Н. Система, минимизирующая излучение сотового телефона // Сборник докладов Всероссийской научной конференции 12-13 ноября 2019 г.: «Актуальные проблемы радиобиологии и гигиены неионизирующих излучений». М.: Российский национальный комитет по защите от неионизирующих излучений, 2019. – С. 169-170.

[4] Рентюк В. 5G и миллиметровые волны. СВЧ-электроника. 2019. № 4.

[5] Component Microwave Journal, July 1, 2019: <https://www.microwavejournal.com/articles/32526-cea-leti-radial-to-design-innovative-rf-components-for-5g-networks-photonics-components>.

[6] Taoglas Cellular Antennas Include Latest LTE, 5G Bands for Global Deployments. Microwave Journal, July 1, 2019: <https://www.microwavejournal.com/articles/32524-taoglas-cellular-antennas-include-latest-lte-5g-bands-for-global-deployments>.

[7] Skyworks: Latest 5G Antenna Tuning Solution // Microwave Journal, July 8, 2019: <https://www.microwavejournal.com/articles/32537-skyworks-latest-5g-antenna-tuning-solution>.

[8] Мырова Л.О., Чепижено А.З. Обеспечение стойкости аппаратуры связи к ионизирующим и электромагнитным излучениям. – М.: Радио и связь, 1988. – 296 с.

[9] Butin V.I., Kundyshev P.Ya. On energy transmitted inside the electronics housing under external microwave radiation in the beginning of the resonance mode of shielding // Technologies of electromagnetic compatibility. 2017. – № 2(61). – P. 3-14.

[10] Кечиев Л.Н., Пожидаев Е.Д. Защита электронных средств от воздействий статического электричества. – М.: Издательский дом «Технологии», 2005. – 352 с.

[11] Кириллов В.Ю. Электромагнитная совместимость летательных аппаратов. – М.: Изд-во МАИ, 2012. – 164 с.

[12] Здухов Л.Н., Парфенов Ю.В., Тарасов О.А., Чепелев В.М. Три возможных механизма возникновения отказов электронных устройств в результате электромагнитного воздействия // Технологии электромагнитной совместимости. – 2018. – № 2(65). – С. 22-34.

[13] Скворцов В. Обеспечение электромагнитной совместимости современных бытовых приборов и биологических объектов как метод улучшения экологической обстановки в нашей среде обитания <https://emc-e.ru/hygiene/problema-emp/> Сборник «Электромагнитная совместимость в электронике-2019».

[14] https://kfc.ua/ru/blog/processorov_smartfonov_i_planshetov_qualcomm_mediatek_i_drugie.html

[15] Кечиев Л.Н., Любомудров А.А., Сахаров М.В., Фоминич Э.Н., Мырова Л.О. Проблемы конструирования электронной аппаратуры с учетом электромагнитной совместимости // Технологии электромагнитной совместимости. – 2020. – № 1(72). – С. 18-30.

[16] <https://www.itrew.ru/smartphone/rejting-processorov-dlya-smartfonov.html>. Рейтинг процессоров для смартфонов (2020, обновляется)

[17] Thomas Bolz. EMI Immunity Reduces HF Disturbances // Electronic Components. – 05/2019. – P. 62-63.

[18] https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bs/R-REC-BS.1698-0-200502-!!!PDF-R.pdf.

[19] Веретенников С. Электромагнитная совместимость разъемов. <https://emc-e.ru/passivnye-komponenty/elektromagnitnaya-sovmestimost-razemov/>

[20] Рентюк В. Электромагнитная совместимость: проблема, от которой не уйти // Сборник «Электромагнитная совместимость в электронике-2018».

REFERENCES

[1] Chelyshev V.D., Yakimovets V.V. Foreign radioelectronic systems of ground-based and satellite mobile radio service. SPb.: VAS, 2012. 338 p.

[2] Kechiev L.N., Akbashev B.B., Stepanov P.V. Screening of technical means and screening systems. M.: LLC "IDT Group", 2010. 470 p.

[3] Baranov A.N. System that minimizes radiation cell phone // Collection of reports of all-Russian scientific conference, 12-13 November 2019 "Actual problems of radiobiology and health non-ionizing radiation". M.: Russian national Committee on protection from non-ionizing radiation, 2019. P. 169-170.

[4] Rentyuk V. 5G and millimeter waves. Microwave electronics. 2019. N 4.

[5] Component Microwave Journal, July 1, 2019: <https://www.microwavejournal.com/articles/32526-cea-leti-radial-to-design-innovative-rf-components-for-5g-networks-photonics-components>.

[6] Taoglas Cellular Antennas Include Latest LTE, 5G Bands for Global Deployments. Microwave Journal, July 1, 2019: <https://www.microwavejournal.com/articles/32524-taoglas-cellular-antennas-include-latest-lte-5g-bands-for-global-deployments>.

[7] Skyworks: Latest 5G Antenna Tuning Solution. Microwave Journal, July 8, 2019: <https://www.microwavejournal.com/articles/32537-skyworks-latest-5g-antenna-tuning-solution>.

[8] Мырова Л.О., Чепизhenko A.Z. Ensuring the resistance of communication equipment to ionizing and electromagnetic radiation. M.: Radio and Communications, 1988. 296 p.

[9] Butin V.I., Kundyshev P.Ya. On energy transmitted inside the electronics housing under external microwave radiation in the beginning of the resonance mode of shielding // Technologies of electromagnetic compatibility. 2017. N 2(61). P. 3-14.

[10] Kechiev L.N., Pozhidaev E.D. Protection of electronic means from the effects of static electricity. M.: Publishing House "Technologies", 2005. 352 p.

[11] Kirillov V.Yu. Electromagnetic compatibility of aircraft. M.: MAI Publishing House, 2012. 164 p.

[12] Zdukhov L.N., Parfenov Yu.V., Tarasov O.A., Chepelev V.M. Three possible mechanisms of occurrence of failures of electronic devices as a result of electromagnetic influence // Electromagnetic compatibility technologies. 2018. N 2(65). P. 22-34.

[13] Skvortsov V. Ensuring electromagnetic compatibility of modern household appliances and biological objects as a method of improving the environmental situation in our environment <https://emc-e.ru/hygiene/problema-emp/> / Collection "Electromagnetic compatibility in electronics-2019".

[14] https://kfc.ua/ru/blog/processorov_smartfonov_i_planshetov_qualcomm_mediatek_i_drugie.html

[15] Kechiev L.N., Lyubomudrov A.A., Sakharov M.V., Fominich E.N., Мырова Л.О. Problems of designing electronic equipment taking into account electromagnetic compatibility

[16] <https://www.itrew.ru/smartphone/rejting-processorov-dlya-smartfonov.html>. Рейтинг процессоров для смартфонов (2020, обновляется)

[17] Thomas Bolz. EMI Immunity Reduces HF Disturbances // Electronic Components. 05/2019. P. 62-63.

[18] https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bs/R-REC-BS.1698-0-200502-!!!PDF-R.pdf.

[19] Veretennikov S. Electromagnetic compatibility of connectors. <https://emc-e.ru/passivnye-komponenty/elektromagnitnaya-sovmestimost-razemov/>

[20] Rentyuk V. Electromagnetic compatibility: a problem that cannot be avoided // Collection " Electromagnetic compatibility in electronics-2018».

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

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

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

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

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

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

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

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

(Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:

www.nauka-nanrk.kz

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

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

Редакторы: *М. С. Ахметова, Д. С. Аленов, А. Ахметова*
Верстка на компьютере *А.М. Кульгинбаевой*

Подписано в печать 08.02.2021.
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
6,75 п.л. Тираж 300. Заказ 1.