

Министерство обороны Российской Федерации
Министерство промышленности и энергетики Саратовской области
ПАО «Тантал», ОАО «Институт критических технологий»
«Саратовский национальный исследовательский
государственный университет имени Н. Г. Чернышевского»

Решением Президиума ВАК Министерства образования и науки РФ издание включено в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых рекомендуется публикация основных результатов диссертационных исследований на соискание ученой степени доктора и кандидата наук

Гетеромагнитная микроэлектроника

Сборник научных трудов

ВЫПУСК 22

**Теоретические и экспериментальные исследования,
компьютерные технологии.
Методические аспекты физического образования.
Экономика в промышленности**

Под редакцией профессора *А. В. Ляшенко*

Саратов
Издательство ОАО «Институт критических технологий»
2017

УДК 621.382.029.6
ББК 548.537.611.44
Г44

Гетеромагнитная микроэлектроника : сборник научных трудов / под ред. проф. А. В. Ляшенко. – Саратов : Изд-во ОАО «Институт критических технологий», 2017. – Вып. 22 : Теоретические и экспериментальные исследования, компьютерные технологии. Методические аспекты физического образования. Экономика в промышленности. – 96 с. : ил.

Настоящий выпуск сборника посвящен 100-летию физико-математического образования в Нижнем Поволжье и г. Саратове. В сборнике нашли отражение оригинальные материалы по теоретическим и экспериментальным исследованиям, компьютерным технологиям, а также методическим аспектам физического образования и экономическим проблемам в промышленности.

Для специалистов-разработчиков, экспертов, работающих в области микро- и наноэлектроники, компьютерных технологий, физического образования, а также докторантов, аспирантов и студентов.

Редакционная коллегия:

А. А. Игнатьев, д-р физ.-мат. наук, проф. (отв. редактор); *М. Н. Куликов*, канд. физ.-мат. наук, проф. (зам. отв. редактора); *Л. Л. Страхова*, канд. физ.-мат. наук, доц. (отв. секретарь); *С. Ю. Глазьев*, д-р экон. наук, проф., акад. РАН; *В. И. Борисов*, д-р техн. наук, член-корр. РАН; *С. А. Никитов*, д-р физ.-мат. наук, проф., член-корр. РАН; *О. С. Сироткин*, д-р техн. наук, член-корр. РАН; *О. Ю. Гордашникова*, д-р экон. наук, проф.; *А. Н. Плотников*, д-р экон. наук, проф.; *Е. А. Наумов*, канд. экон. наук, проф., акад. РАЕН; *Л. С. Сотов*, д-р техн. наук, проф.; *А. А. Солопов*, канд. экон. наук; *С. П. Кудрявцева*, канд. техн. наук, доц.; *С. В. Овчинников*, канд. физ.-мат. наук, доц.; *В. А. Малярчук*, канд. техн. наук, доц.; *А. Л. Хвалин*, д-р техн. наук, проф.; *Б. А. Медведев*, канд. физ.-мат. наук, доц.; *Л. А. Романченко*, канд. техн. наук, доц.; *А. С. Краснощекова*, зам. нач. КБ КТ по общим вопросам (референт ОАО «Институт критических технологий»)

УДК 621.382.029.6
ББК 548.537.611.44

ПРЕДИСЛОВИЕ

Сборник научных трудов «Гетеромагнитная микроэлектроника» выходит 4 раза в год – 2 раза в год в открытом и 2 раза в год в ограниченном доступе (спецвыпуски) и публикует материалы по группам научных специальностей:

- 01.04.00 «Физика»;
- 05.12.00 «Радиотехника и связь»;
- 05.13.00 «Информатика, вычислительная техника и управление»;
- 05.27.00 «Электроника»;
- 08.00.00 «Экономические науки».

В настоящем выпуске сборника в разделе «Теоретические и экспериментальные исследования, компьютерные технологии» нашли отражение оригинальные материалы по методологии обнаружения уязвимостей в программном обеспечении, анализу алгоритмов генерации пин-кодов, исследованию параметрической генерации высокочастотных колебаний с учетом полей пространственного заряда и статического потенциала, приведена оценка влияния толщины намагниченного носителя информации на величину поверхностной магнитной индукции, исследуются шумовые свойства многодиодного генератора СВЧ, проведен анализ патентов по устройствам для магнитной навигации, а также для манипуляции битами данных вычислительной техники, представлены результаты исследования принципов построения и характеристик глобальной навигационной спутниковой системы контроля местоположения подвижных объектов с использованием комбинированной технологии передачи и обработки информации в условиях ограниченной сотовой связи, рассмотрены квантово-механический и классический подходы к описанию комплексов из магнитосом и филаментов цитоскелета.

Раздел «Методические аспекты физического образования» посвящен детальной характеристике общепрофессиональных и профессиональных компетенций, а также некоторым проблемам государственной итоговой аттестации по программе прикладной магистратуры «Магнитоэлектроника в системах защиты информации и безопасности» с учетом особенностей обучения.

В разделе «Экономика в промышленности» представлены материалы по формированию механизма энергосбережения на предприятии, а также инвестиционного портфеля акций инновационных компаний на основе теории Марковица.

Ответственный редактор
доктор физико-математических наук,
профессор *А. А. Игнатьев*

УДК 004.056.53

**ОБНАРУЖЕНИЕ УЯЗВИМОСТЕЙ В ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ
МЕТОДОМ ФАЗЗИНГА**

В. Б. Байбурин, А. А. Губенков, М. С. Сивожелезов

Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю. А.
Россия, 410054, Саратов, Политехническая, 77
E-mail: agubenkov@mail.ru

В статье рассмотрена методология обнаружения уязвимостей в различном программном обеспечении методом фаззинга. Описаны возможности разработанного программного комплекса для поиска уязвимостей в программном обеспечении.

Ключевые слова: тестирование, уязвимость, исходный код.

Fuzzing Method for Software Vulnerability Detection

V. B. Baiburin, A. A. Gubenkov, M. S. Sivozhelezov

This article describes the developed fuzzing software for analysis and detection of vulnerabilities in various software. The structure of the developed software complex for vulnerability searching is proposed.

Key words: testing, vulnerability, source code.

В настоящее время большинство компаний, занимающихся разработкой программного обеспечения, уделяет существенное внимание безопасности своих программных продуктов, которая осуществляется тестированием разработанного программного обеспечения по методологиям «белого ящика», «черного ящика», «фаззинга» и т. д. Главной целью таких испытаний является выявление программных ошибок, «багов», некорректного поведения, утечек памяти или отклонения от спецификации [1, 2].

Мониторинг ошибок является одной из важнейших составляющих тестирования. Коммерческие продукты почти всегда хорошо защищены от ошибок. В них организованы обработка исключений, проверка сигналов и прочие функции, поддерживаемые операционной системой. Отслеживая ошибки с помощью отладочной подсистемы, можно обнаружить различные сбои. Если тестирование проводится в интерактивном режиме, то достаточно подключить отладчик к тестируемому процессу. Многие отладчики по умолчанию настраиваются таким образом, чтобы перехватывать только те исключения, которые не обрабатываются процессом. Необходимо чтобы отладчик мог перехватывать исключения до того, как они передаются приложению, а после возникновения исключения автоматически продолжать работу приложения [3].

Самую важную категорию исключений составляют нарушения доступа. Обычно они происходят тогда, когда процесс пытается обратиться по адресу, недействительному в его адресном пространстве. Такие ошибки в ходе работы программы часто происходят при повреждении указателей в динамических структурах данных, а также при переполнении буфера.

Результатом переполнения буфера может стать что угодно – от аварийного завершения программы до получения злоумышленником полного контроля над приложением, а если процесс запущен от имени пользователя с высоким уровнем доступа, то и над всей операционной системой. Именно поэтому важно тщательно тестировать программное обеспечение, чтобы такие уязвимости не остались незамеченными [3, 4].

В данной статье рассматривается комплекс, разработанный для тестирования программного обеспечения методом фаззинга. Также описываются функции программных модулей и схема работы программного комплекса.

Фаззинг – это метод обнаружения ошибок в программном обеспечении путем ввода в программу нестандартных значений исходных данных и мониторинга возникающих исключений. Обычно это полуавтоматизированный или автоматизированный процесс, в котором нужно постоянно передавать исходные данные в тестируемое программное обеспечение [2, 5].

Все программы-фаззеры можно разделить на две категории:

- мутационные (изменяют имеющиеся образцы данных и создают какие-либо условия для тестирования);

- порождающие (создают условия для тестирования с чистого листа, моделируя при этом определенный сетевой протокол или формат файла).

Данные категории, в свою очередь, используют следующие методы тестирования [2, 6, 7]:

- подготовка образцов данных для тестирования. Для этого проводится анализ структуры исходных данных и определяются значения, которые будут в них изменяться. После этого создаются тестовые файлы, включающие граничные условия и преднамеренные ошибки, для последующей их передачи в тестируемое программное обеспечение. Подготовленные образцы можно в дальнейшем использовать для тестирования различных вариантов реализации определенного формата файлов или сетевого протокола;

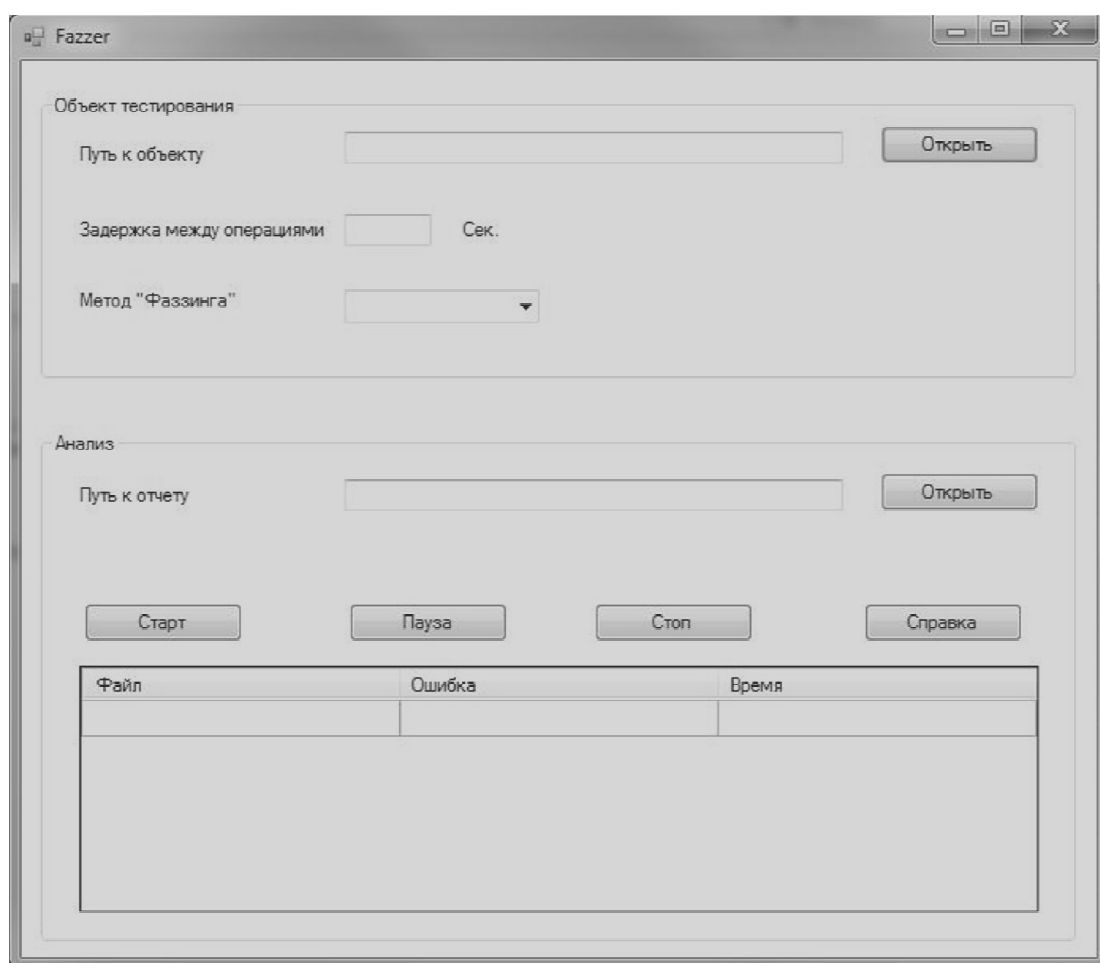
- передача случайных данных. На вход программы подаются псевдослучайные данные, которые могут спровоцировать возникновение ошибок или некорректное поведение. Данный метод менее эффективен и обычно используется для быстрого тестирования кода на наличие ошибок;

- неавтоматизированное мутационное тестирование. При этом автоматические программы-фаззеры не применяются. Запустив исследуемое приложение, тестировщик вручную вводит значения и анализирует реакцию системы, пытаясь вызвать фатальную ошибку или нежелательное поведение программы. В данном методе результат зависит от работы аналитика, так как он руководствуется своим личным опытом и интуицией для более качественного выполнения тестирования. Обычно этот метод используется для обнаружения уязвимостей в веб-приложениях;

– тестирование методом грубой силы (*bruteforce*). За основу берется сетевой протокол или формат файла, в котором последовательно искажается каждый байт данных. Данный метод не требует предварительного исследования особенностей работы программы и поэтому является наиболее простым в реализации. Работа программы-«фаззера» заключается в изменении данных и передаче их тестируемому приложению.

Разработанный программный комплекс позволяет выбрать метод тестирования программного обеспечения, что дает возможность более качественно и объемно провести его исследование на наличие уязвимостей.

Для запуска тестирования необходимо указать путь к объекту исследования (исполняемому файлу приложения), выбрать метод тестирования, а также задать время задержки между операциями. Главное окно разработанного комплекса тестирования представлено на рисунке.



Главное окно разработанного комплекса тестирования

После запуска процесса тестирования программный комплекс последовательно передает случайно сгенерированный поток данных в стандартный поток ввода исследуемого программного продукта, ведет подробный отчет процесса тестирования программного обеспечения выбранным методом, по окончании которого появится диалоговое окно с информацией об исходных данных, вызвавших аварийное завершение анализируемого процесса.

Разработанный программный комплекс позволяет провести комплексный анализ уязвимостей тестируемого программного обеспечения, тем самым повысить отказоустойчивость и безопасность разрабатываемых программных продуктов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Канер С., Фолк Д., Нгуен Е. Тестирование программного обеспечения. М. : Издательский дом «ДиаСофт», 2001. 544 с.
2. Самтон М., Грин А., Амини П. Fuzzing : исследование уязвимостей методом грубой силы. СПб. : Символ-Плюс, 2009. 560 с.
3. Губенков А. А. Разработка автоматизированной системы обнаружения уязвимостей сетевого программного обеспечения // Информационная безопасность регионов. 2008. № 1. С. 38–43.
4. Байбурин В. Б., Губенков А. А. Информационная безопасность. М. : ЗАО «Новый издательский дом», 2005. 128 с.
5. Хогланд Г., Мак-Гроу Г. Взлом программного обеспечения : анализ и использование кода. М. : Вильямс, 2005. 400 с.
6. Seitz J. Gray Hat Python : Python programming for hackers and reverse engineers. San Francisco : No Starch Press, Inc., 2009. 190 p.
7. Ховард М., Лебланк Д. Защищенный код. М. : Изд-во «Русская редакция», 2005. 704 с.

УДК 537.633.9

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТОЛЩИНЫ НАМАГНИЧЕННОГО НОСИТЕЛЯ ИНФОРМАЦИИ НА ВЕЛИЧИНУ ПОВЕРХНОСТНОЙ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

С. П. Кудрявцева

Саратовский национальный исследовательский
государственный университет имени Н. Г. Чернышевского
Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83
E-mail: svetlana.kudryavceva.49@mail.ru

В статье проведен анализ влияния толщины магнитного носителя информации на величину поверхностной магнитной индукции, что позволяет оценить оптимальную толщину носителя.

Ключевые слова: носитель информации, магнитная индукция, намагниченность.

Evaluation of the Influence of a Magnetized Information Carrier Thickness on the Value of Surface Magnetic Induction

S. P. Kudryavceva

The article analyzes the influence of a magnetized information carrier thickness on the value of surface magnetic induction, which allows to estimate the optimal carrier thickness.

Key words: information carrier, magnetic induction, magnetization.

При воспроизведении информации выходной сигнал определяется величиной выходящего из носителя внешнего магнитного потока, который взаимодействует с головкой воспроизведения.

Величина остаточного магнитного потока, приходящегося на единицу поверхности носителя, представляет собой поперечную (перпендикулярную) составляющую магнитной индукции на поверхности носителя, которую называют поверхностной магнитной индукцией [1, 2]:

$$B_y = \frac{d\Phi}{dS} = \frac{1}{b} \cdot \frac{d\Phi}{dx},$$

где B_y – поверхностная магнитная индукция; Φ – магнитный поток; $S = b \cdot dx$ – площадь элементарного участка рабочей поверхности носителя; b – ширина дорожки записи; dx – элемент носителя в направлении намагничивания.

Если на носителе записан синусоидальный сигнал, то внешний магнитный поток и поверхностная индукция распределены синусоидально вдоль носителя:

$$\Phi = \Phi_m \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda} x,$$

$$B_y = \frac{1}{b} \cdot \frac{d\Phi}{dx} = \frac{1}{b} \cdot \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Phi_m \cdot \cos \frac{2\pi}{\lambda} x = B_{ym} \cos \frac{2\pi}{\lambda} x,$$

где Φ_m – амплитуда магнитного потока; λ – длина волны записи;

$B_{ym} = \frac{2\pi}{b\lambda} \Phi_m$ – амплитуда поверхностной индукции.

Для магнитного поля в окружающем носитель внешнем пространстве справедливы уравнения Максвелла в магнитостатическом приближении.

При условии $\frac{\partial B}{\partial z} = 0$ и $B_z = 0$ уравнения Максвелла имеют вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial B_x}{\partial x} + \frac{\partial B_y}{\partial y} = 0, \\ \frac{\partial B_y}{\partial x} - \frac{\partial B_x}{\partial y} = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Решая систему уравнений (1) методом разделения переменных, получим:

$$B_x = B_{ym} \cdot e^{-\frac{2\pi}{\lambda} y} \sin \frac{2\pi}{\lambda} x, \quad (2)$$

$$B_y = B_{ym} \cdot e^{-\frac{2\pi}{\lambda}y}, \cdot \cos \frac{2\pi}{\lambda}x. \quad (3)$$

Выражения (2) и (3) указывают на экспоненциальный спад индукции и, соответственно, внешнего магнитного потока с удалением от рабочей поверхности.

Для того чтобы найти отдачу как функцию намагниченности носителя M , рассматривается очень тонкий слой синусоидально намагниченного носителя и принимается, что его магнитная проницаемость равна 1 и что намагниченность в нем направлена продольно и распределена однородно по толщине. В очень тонком носителе длина волны записи много больше его толщины D . Поэтому эффектом саморазмагничивания в сигналограмме можно пренебречь и считать, что внутренняя магнитная индукция в нем равна

$$B_{m(\text{cp})} = \mu_0 M_m,$$

где $B_{m(\text{cp})}$ – амплитуда индукции, усредненная по толщине; μ_0 – магнитная постоянная; M_m – амплитуда намагниченности и

$$B_x = B_{m(\text{cp})} \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda} \cdot x = \mu_0 M_m \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda} \cdot x.$$

Внешний магнитный поток для рассматриваемой модели составляет половину внутреннего:

$$\Phi = \frac{1}{2} bD \cdot B_{x(\text{cp})} = \frac{1}{2} bD \cdot \mu_0 M_m \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda} \cdot x. \quad (4)$$

Обозначим $\frac{bD \cdot \mu_0 M_m}{2} = \Phi_m$. Тогда амплитуда поверхностной индукции примет вид

$$B_{ym} = \frac{2\pi}{b\lambda} \cdot \Phi_m = \frac{2\pi}{b\lambda} \cdot \frac{bD \cdot \mu_0 M_m}{2} = \frac{\pi D}{\lambda} \cdot \mu_0 M_m. \quad (5)$$

Из полученных соотношений (4) и (5) следует, что у очень тонкого носителя при постоянной амплитуде намагниченности внешний магнитный поток не зависит от длины волны записи, а амплитуда поверхностной индукции обратно пропорциональна длине волны.

Для исследования влияния толщины магнитного носителя на величину поверхностной индукции рассмотрим синусоидально намагниченный носитель произвольной толщины D , представленный на рис. 1.

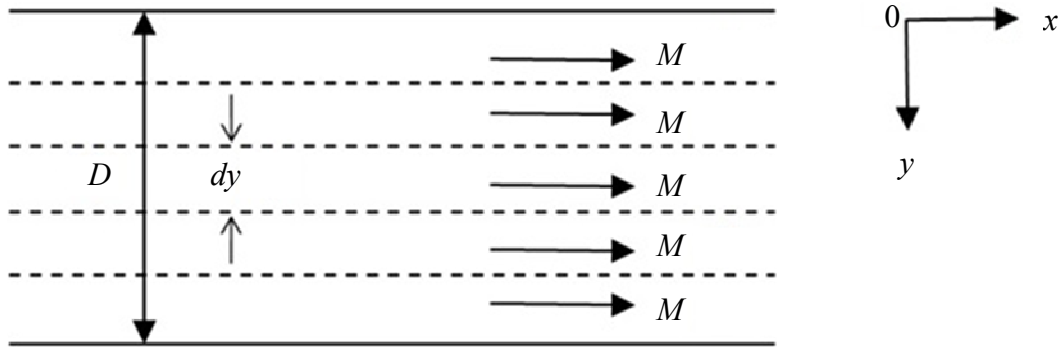


Рис. 1. Синусоидально намагниченный носитель

Примем, что намагниченность в носителе распределена однородно по толщине, а магнитная проницаемость постоянна и равна 1. Разобьем носитель по толщине на элементарные слои толщиной dy . К каждому такому слою применимо соотношение (5). Путем замены D на dy и учета изменения амплитуды поверхностной индукции в пространстве над каждым элементарным слоем получим вклад в поверхностную индукцию от каждого такого слоя:

$$dB_y(y) = dB_{ym} \cdot e^{-\frac{2\pi}{\lambda}y} = \frac{\pi \cdot dy}{\lambda} \cdot \mu_0 M_m \cdot e^{-\frac{2\pi}{\lambda}y}.$$

Тогда по принципу суперпозиции, который можно применить в силу линейности системы, получим

$$B_y = \int dB_y(y) = \frac{\pi}{\lambda} \cdot \mu_0 M_m \cdot \int_0^D e^{-\frac{2\pi}{\lambda}y} dy = \frac{\pi D}{\lambda} \cdot \mu_0 M_m \cdot \frac{1 - e^{-\frac{2\pi D}{\lambda}}}{\frac{2\pi D}{\lambda}}. \quad (6)$$

Сомножитель $\frac{1 - e^{-\frac{2\pi D}{\lambda}}}{\frac{2\pi D}{\lambda}}$ в выражении (6) представляет собой так назы-

ваемую функцию слойных потерь, которая показывает, что с уменьшением длины волны записи или с увеличением толщины носителя D все большая часть потока, создаваемого глубинными слоями носителя, замыкается внутри него и не участвует в образовании результирующей поверхностной индукции.

Результаты расчета по формуле (6) представлены в таблице и на рис. 2.

Значения поверхностной магнитной индукции $\frac{B_y}{\mu_0 M_m}$

$\frac{2\pi D}{\lambda}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
$\frac{B_y}{\mu_0 M_m}$	1,0	0,9516	0,9064	0,8639	0,8242	0,7869	0,752	0,7192

$\frac{2\pi D}{\lambda}$	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
$\frac{B_y}{\mu_0 M_m}$	0,6883	0,6594	0,6321	0,5823	0,5382	0,4988	0,4637	0,4323

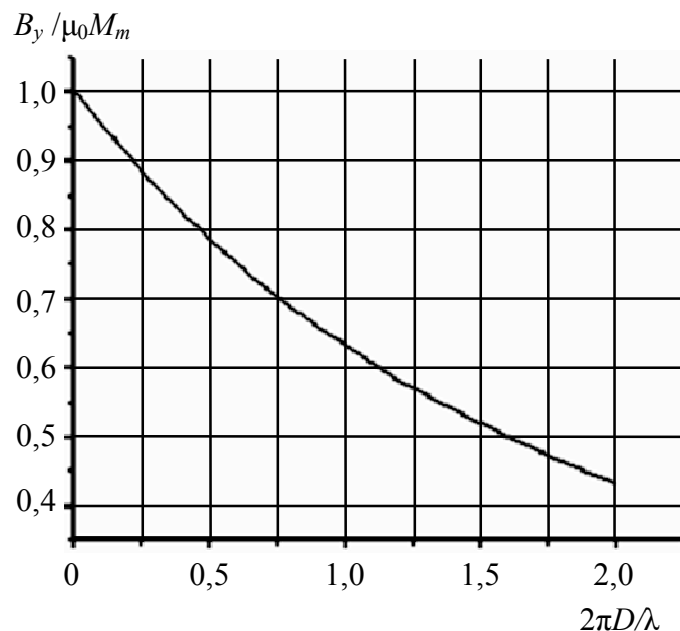


Рис. 2. Зависимость поверхностной магнитной индукции от толщины носителя

Из анализа рис. 2 следует, что при толщине носителя $D \approx 0,24\lambda$ (величина $\frac{2\pi D}{\lambda} = 1,5$) вклад в поверхностную индукцию нижних слоев составляет 50% и менее. Поэтому превышение толщины $0,24\lambda$ магнитного рабочего слоя носителя нецелесообразно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Запись аудио- и видеосигналов : учеб. для вузов / под ред. Ю. А. Ковалгина. М. : Изд. центр «Академия», 2010. 508 с.
2. Гитлиц М. В. Магнитная запись сигналов : учеб. пособ. для вузов. М. : Радио и связь, 1990. 232 с.

АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ГЕНЕРАЦИИ ПИН-КОДОВ ПРОТОКОЛА WPS

В. Б. Байбурин, А. А. Губенков, А. В. Ляшенко*

Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю. А.
Россия, 410054, Саратов, Политехническая, 77
E-mail: agubenkov@mail.ru

*ОАО «Институт критических технологий»
Россия, 410040, Саратов, пр. 50 лет Октября, 110А
E-mail: kbkt@renet.ru

В статье рассматривается уязвимость в протоколе WPS, которая позволяет реализовать bruteforce атаку на беспроводную сеть. Приведены варианты алгоритмов генерации пин-кодов, которые используются в различных моделях роутеров.

Ключевые слова: беспроводная сеть, точка доступа, уязвимость.

Analysis of Pin-code Generation Algorithms in WPS Security Protocol

V. B. Baiburin, A. A. Gubenkov, A. V. Lyashenko

The paper discusses the vulnerability of the WPS protocol which leaves a possibility for a bruteforce attack on the wireless network. The PIN-code generation algorithms in different routers are described.

Key words: wireless network, access point, vulnerability.

Современные технологии беспроводной передачи данных широко используются для построения компьютерных сетей как в производственной деятельности крупных компаний, так и для домашнего применения. Беспроводная *Wi-Fi* сеть строится на основе базовых станций – точек доступа. Радиус зоны покрытия современной точки доступа составляет около 100 м. При этом одна точка может поддерживать одновременно несколько десятков активных пользователей и обеспечивать скорость передачи информации до 400 Мбит/с.

Безопасности беспроводных сетей уделяется большое внимание [1–4]. Изначально в спецификации беспроводных сетей *IEEE 802.11* был определен протокол безопасности *WEP (Wired Equivalent Privacy)*, который позволял шифровать поток передаваемых данных на основе алгоритма *RC4* с ключом размером 64 или 128 битов. Однако в данном протоколе были обнаружены фундаментальные уязвимости, из-за чего злоумышленник мог подобрать ключ путем анализа данных, передаваемых по сети [5].

В 2003 г. был разработан улучшенный стандарт безопасности беспроводных сетей – *WPA (Wi-Fi Protected Access)*. При использовании протокола *WPA-PSK (Pre-Shared Key)* в настройках точки доступа указывается пароль длиной от 8 до 63 символов.

Для подключения нового устройства к защищенной *Wi-Fi*-сети пользователю требуется указать имя беспроводной сети и ввести длинный пароль. С целью упрощения этой процедуры ассоциацией *Wi-Fi Alliance* в 2009 г. был разработан протокол *WPS (Wi-Fi Protected Setup)*. При его использовании для подключения устройства к защищенной сети достаточно нажать на специальную клавишу на точке доступа или ввести пин-код. В настоящее время все беспроводные роутеры и точки доступа поддерживают протокол *WPS*.

Возможны различные варианты использования функции *WPS*, например:

- нажатие кнопки. Пользователь нажимает специальную кнопку на точке доступа и на подключаемом устройстве, тем самым активируя процесс настройки;

- ввод пин-кода на точке доступа. При соединении с роутером инициализируется *WPS*-сессия, в рамках которой можно получить настройки сети, если правильно ввести пин-код.

Поскольку пин-код состоит из 8 цифр, то возможно всего 100 миллионов вариантов его значений. Однако последняя цифра пин-кода представляет собой контрольную сумму, которая рассчитывается по алгоритму *GTIN-8* на основании первых 7 цифр, что сокращает количество возможных вариантов до 10 миллионов.

В 2011 г. организация *US Computer Emergency Readiness Team* опубликовала бюллетень безопасности [6], описывающий уязвимость в протоколе *WPS*. Суть уязвимости *CVE-2011-5053* заключается в особенности реализации проверки точкой доступа корректности пин-кода. В протоколе *WPS* проверка пин-кода осуществляется в два этапа: сначала он делится на две части по 4 цифры, а затем каждая часть проверяется отдельно. Если клиент ввел неправильный код, то точка доступа отправляет служебное сообщение *EAP-NACK*, по которому можно точно определить, какая часть кода введена неверно. Алгоритм проверки пин-кода показан на рисунке.

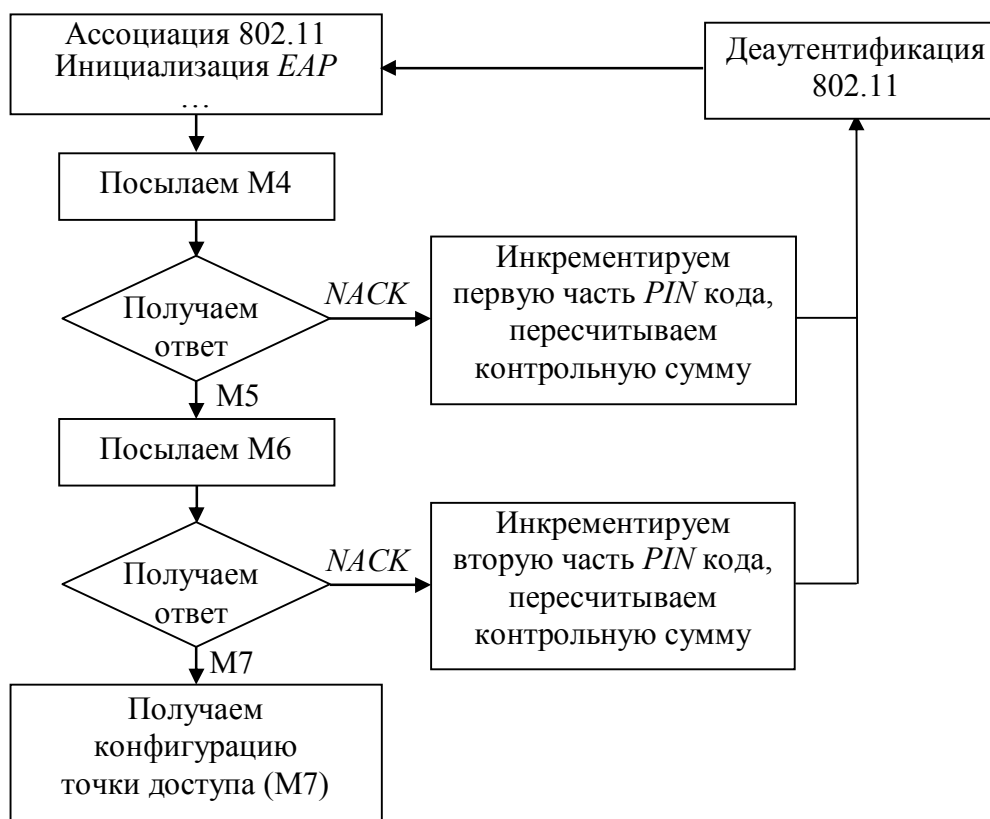
Если после отправки пакета *M4* клиент получил в ответ сообщение *EAP-NACK*, то первая часть пин-кода неправильная.

Если сообщение *EAP-NACK* получено после отправки пакета *M6*, то неверна вторая часть пин-кода.

Эта особенность протокола *WPS* позволяет значительно сократить количество попыток при *bruteforce*-атаке. Всего получается 10000 вариантов для первой половины пин-кода и 1000 – для второй. В результате оказывается, что злоумышленнику потребуется перебрать всего лишь 11000 вариантов.

Для реализации *bruteforce*-атаки на протокол *WPS* может использоваться утилита *Reaver*, разработанная компанией *Tactical Network Solutions* [7]. Она не только автоматизирует процесс подбора *WPS-PIN* и получения *PSK*-ключа, но и обладает большим количеством настроек, чтобы атаку можно

было осуществить против различных моделей роутеров. Использование утилиты *Reaver* возможно только в ОС семейства *Linux*, так как для анализа сетевого трафика требуется перевести беспроводной адаптер в режим мониторинга. В процессе работы *Reaver* последовательно отправляет пин-коды точке доступа. Скорость работы утилиты *Reaver* ограничена скоростью обработки роутером *WPS*-запросов. Если время проверки каждого пин-кода будет составлять 3 секунды, то для перебора всех 11000 вариантов потребуется не более 10 часов.



Алгоритм *bruteforce* атаки на протокол *WPS*

Дальнейший анализ протокола *WPS* показал, что время атаки на некоторые модели роутеров можно сократить с 10 часов до нескольких секунд [7].

В процессе исследования нами анализировалась точка доступа *Zyxel Keenetic Lite II*, которая была приобретена с целью организации домашней *Wi-Fi* сети. Оказалось, что у беспроводных роутеров этой серии можно вычислить пин-код по *MAC*-адресу роутера (*BSSID*), который транслируется в эфир в открытом виде (например: *BSSID = FC:F5:28:4C:27:B4*).

Алгоритм вычисления пин-кода:

1) выбираем три последних байта из *MAC*-адреса точки доступа (для нашего примера *4C:27:B4*);

2) выполняем преобразование системы счисления из шестнадцатеричной в десятичную (получаем 7-значное число 4990900). Если в результате преобразования получилось 8-значное число, то отбрасываем старший разряд;

3) по алгоритму *GTIN-8* рассчитываем контрольную цифру;

4) проверяем вычисленный пин-код 49909005 с помощью утилиты *Reaver*. Для этого нужно запустить программу *Reaver* с опцией *-p*, задающей конкретный пин-код:

```
$ reaver -i mon0 -b FC:F5:28:4C:27:B4 -p 49909005 -v.
```

Таким образом, данная модель сетевого оборудования не обеспечивает высокого уровня защищенности беспроводной сети. Даже если пользователь задаст сложный *WPA*-пароль, состоящий из нескольких десятков символов (от 8 до 63), злоумышленник сможет получить его за несколько секунд. Следует отметить тот факт, что функция *WPS* по умолчанию включена на беспроводных устройствах из требований совместимости с операционными системами компании *Microsoft*.

В качестве следующего исследуемого устройства нами анализировалась точка доступа *ASUS RT-N10P*. В процессе исследования было обнаружено, что пин-код в роутерах данного производителя также генерируется на основе значений отдельных байтов *MAC*-адреса роутера ($BSSID = b_0: b_1: b_2: b_3: b_4: b_5$, всего 6 байтов). Каждый из 7 разрядов пин-кода p_i вычисляется по следующему алгоритму:

$$p_i = (b_{i \bmod 6} + b_5) \bmod \left(10 - \left(i + \sum_{j=1}^5 b_j \right) \bmod 7 \right),$$

где i – номер разряда. Последний 8-й разряд пин-кода рассчитывается по алгоритму *GTIN-8* по известным начальным цифрам. Например, *MAC*-адресу исследуемого роутера 90:F6:52:52:3D:B4 соответствует значение пин-кода 43631001.

В настоящее время компании *Zyxel*, *D-Link*, *TP-Link* и другие производители уже выпустили новые версии прошивок, в которых добавлена возможность временной блокировки функции *WPS* после нескольких неудачных попыток ввода пин-кода. Эта мера позволяет увеличить время, необходимое для подбора пин-кода злоумышленником, но не устраняет саму возможность *bruteforce*-атаки. Поэтому для исключения возможности этой атаки рекомендуется отключить функцию *WPS* в настройках роутера. Также для уменьшения вероятности взлома *Wi-Fi*-сети рекомендуется ограничивать распространение сигнала за пределы контролируемой зоны.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Щербаков В. Б., Ермаков С. А. Безопасность беспроводных сетей. Стандарт IEEE 802.11. М. : РадиоСофт, 2010. 256 с.
2. Гордейчик С. В., Дубровин В. В. Безопасность беспроводных сетей. М. : Горячая Линия-Телеком, 2008. 288 с.
3. Белорусов Д. И., Корешков М. С. WiFi-сети и угрозы информационной безопасности // Спец. техника, 2009. № 6. С. 2–6.
4. Губенков А. А., Байбурун В. Б. Информационная безопасность : учеб. пособ. М. : ЗАО «Новый издательский дом», 2005. 128 с.
5. Максимов В. И. Технология Wi-Fi : гарантии безопасности // Компьютер-Пресс. 2005. № 4. С. 47–50.
6. WPS PIN brute force vulnerability. URL : <http://www.kb.cert.org/vuls/id/723755> (дата обращения : 18.12.2016).
7. Губенков А. А. Исследование проблем безопасности протокола WPS // Информационная безопасность регионов. 2014. № 2. С. 12–17.

УДК 621.373.522

СПЕКТРЫ ФЛУКТУАЦИЙ СИГНАЛА МНОГОДИОДНОГО ГЕНЕРАТОРА СВЧ

А. С. Шаповалов

Саратовский национальный исследовательский
государственный университет имени Н. Г. Чернышевского
Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83
E-mail: apd@sgu.ru

Исследуются шумовые свойства многодиодного генератора СВЧ. Представлены выражения для собственных и взаимных спектров амплитудных, частотных и фазовых флуктуаций, вызванных СВЧ-шумами активных элементов. Показано, что шумовые свойства генератора зависят от стратегии настройки и особенностей его электродинамической системы.

Ключевые слова: многодиодный генератор, спектральная плотность, флуктуация, амплитуда, частота, фаза.

Spectrums of the Fluctuations of Signal of the Multidiode Microwave Oscillator

A. S. Shapovalov

It is investigated the noise properties of the multidiode microwave oscillator. Expressions for the own and mutual spectrums of the amplitude, frequency and phase fluctuations, caused by the UHF noises of active elements, are presented. It is shown, that the noise properties of oscillator depend on the generator tuning strategy and the peculiarity of its electrodynamic system.

Key words: multidiode oscillator, spectral density, fluctuation, amplitude, frequency, phase.

Вопросы теории и разработки полупроводниковых генераторов СВЧ вызывают неизменный практический интерес [1–3]. Это относится и к многодиодным сумматорам мощности, в которых мощность отдельных актив-

ных элементов складывается в суммирующем резонаторе [4]. Однако в ранних работах, авторы которых исследовали флуктуации генерируемого сигнала, вызываемые собственными СВЧ-шумами диодов сумматора, содержались противоречивые сведения [5, 6]. Прежде всего это касается влияния числа активных элементов на уровень шумов выходного сигнала. Последующие исследования объяснили указанные противоречия [7, 8]. При этом были получены собственные и взаимные спектры амплитудно-частотных флуктуаций сигнала в рамках более общей и последовательной методики анализа. Естественно, что для завершенности исследований необходимо дополнить их также сведениями о спектре флуктуаций фазы и взаимной спектральной плотности амплитудно-фазовых флуктуаций. В данной статье приведены результаты расчета указанных спектральных плотностей и сформулирована полная система спектров флуктуаций сигнала многодиодного генератора.

Для решения поставленной задачи была разработана методика [3, 7, 8], учитывающая специфику конструкции сумматора. Она основывается, прежде всего, на обобщенной эквивалентной схеме твердотельного генератора, которая допускает использование произвольного числа активных элементов [3]. При исследовании влияния на флуктуации выходного сигнала собственных СВЧ-шумов диода низкочастотная цепь питания во внимание не принималась, поэтому эквивалентная схема генератора предельно проста. Она отражает только высокочастотную генераторную петлю, содержащую последовательно включенные ЭДС источника собственных СВЧ-шумов диода и импедансы диода и нагрузки.

Одним из преимуществ такой схемы является возможность получения флуктуационных уравнений и спектров шумов выходного сигнала без конкретизации типа и числа активных элементов, т. е. в общем случае. Задавая импедансные характеристики диодов и нагрузки и используя результаты исследования обобщенной схемы, можно оперативно определить шумовые параметры любой генерирующей системы. Указанная обобщенная схема была успешно использована для нахождения спектров амплитудно-частотных флуктуаций сигнала твердотельного генератора в автономном режиме работы [3]. Введение в схему ЭДС источника синхронизирующего сигнала позволило рассчитать спектры шумов твердотельного СВЧ-генератора в режиме синхронизации [9]. Дополнение схемы низкочастотным контуром, который учитывает цепь питания диода и образуется последовательно включенными ЭДС источника питания, балластным сопротивлением, ЭДС источника собственных СВЧ-шумов диода и импедансом диода, обеспечивает возможность исследования совместного влияния сверхвысокочастотных и низкочастотных источников флуктуаций на шумовые параметры твердотельного генератора [10].

Как уже говорилось, метод обобщенной эквивалентной схемы дает возможность использования результатов ее исследования для определения спектров флуктуаций сигнала многодиодных генераторов – сумматоров мощности. Действительно, детальная эквивалентная схема многодиодного

сумматора мощности [6] достаточно сложна и соответствует генератору, состоящему из нескольких диодных модулей, подключенных к суммирующему резонатору, связанному с нагрузкой. Однако метод редуцирования [7, 8], основанный на пересчете элементов диодных модулей и нагрузки в контур суммирующего резонатора с последующим объединением соответствующих элементов, позволяет свести ее фактически к обобщенной эквивалентной схеме, рассмотренной в [3]. Совместное применение методов редуцирования и обобщенной эквивалентной схемы составило основу методики исследования, проведенного в данной работе. При этом в качестве источников флуктуаций сигнала принимались собственные СВЧ-шумы диодных модулей, пренебрегалось корреляцией квадратурных компонент шума, считались идеальными трансформаторы связи диодных модулей и нагрузки с суммирующим резонатором

Прежде чем переходить к обсуждению спектров шумов выходного сигнала многодиодного генератора, необходимо отметить следующую особенность их расчета. Дело в том, что результаты пересчета элементов схемы диодных модулей в контур суммирующего резонатора, а, следовательно, и спектры шумов, зависят от стратегии настройки электродинамической системы в процессе увеличения числа диодов. При изменении количества диодов систему необходимо подстраивать так, чтобы амплитуда СВЧ-колебаний на каждом активном элементе, а значит и генерируемая им мощность оставались неизменными и не зависели от числа диодов [7, 8]. Это условие можно выполнить разными способами, среди которых выделим два типичных. Первый способ – это настройка путем изменения связи суммирующего резонатора с нагрузкой (подстройка нагрузки), второй – настройка посредством изменения связи каждого диодного модуля с суммирующим резонатором (подстройка диодных модулей).

Спектральная плотность флуктуаций амплитуды

Рассмотрим спектр амплитудных флуктуаций при первом способе настройки. Двухсторонняя спектральная плотность $S_{\alpha N}(\Omega)$ флуктуаций амплитуды $\alpha(t)$ сигнала N -диодного генератора, рассчитанная в [11] по изложенной выше методике, имеет вид

$$S_{\alpha N}(\Omega) = S_{\alpha 1}(\Omega) \frac{a^2}{N} \frac{p_1^2 + \Omega^2}{p_1^2 a^2 + \Omega^2}, \quad (1)$$

где спектральная плотность флуктуаций амплитуды сигнала однодиодного генератора рассчитывается по формуле

$$S_{\alpha 1}(\Omega) = \frac{2S_{u1}}{I_1^4 \left(\frac{\partial R_{d1}}{\partial I_1} \right)^2} \cdot \frac{p_1^2}{p_1^2 + \Omega^2}; \quad (2)$$

Ω – круговая частота флуктуаций (частота отстройки амплитудного шума от несущей); p_1 – прочность предельного цикла однодиодного генератора, рассчитанная по формуле

$$p_1^2 = \frac{I_1^2}{(X'_1)^2 (q_\phi + 1)^2} \left(\frac{\partial R_{d1}}{\partial I_1} \right)^2; \quad (3)$$

a – коэффициент преобразования прочности предельного цикла, равный отношению прочности предельного цикла p_N многодиодного генератора к прочности предельного цикла p_1 однодиодного, рассчитывается по формулам

$$a = \frac{N(q_\phi + 1)}{q_\phi + N}, \quad (4)$$

$$p_1 a = p_N; \quad (5)$$

$2S_{u1}$ – сумма спектральных плотностей напряжения квадратурных компонент собственных шумов диода [11, 12]; I_1 – амплитуда СВЧ-тока в контуре суммирующего резонатора; R_{d1} – модуль активного сопротивления диода, пересчитанный в контур суммирующего резонатора; X_1 – мнимая часть импеданса диодного модуля, включающая и реактивность диода, пересчитанная в контур суммирующего резонатора; $q_\phi = X'_p / X'_1$ – параметр фиксирующей способности контура, равный отношению фиксирующей способности суммирующего резонатора к внесенной фиксирующей способности диодного модуля в однодиодном генераторе (штрих означает производную по частоте); X_p – мнимая часть импеданса суммирующего резонатора.

При изменении параметра фиксирующей способности контура q_ϕ от значений $q_\phi \approx 0$ до величин $q_\phi \gg N$ коэффициент a изменяется в пределах от 1 до N . В этих и последующих выражениях индексы 1 и N означают отношение символов к однодиодному или N -диодному генератору соответственно.

Для исследования реальной зависимости $S_{\alpha N}(\Omega)$ и различных параметров схемы в выражение (1) необходимо подставить соотношения (2)–(5). Так, например, при изучении частотной зависимости спектральной плотности $S_{\alpha N}(\Omega)$ выражение (1) удобнее представить так:

$$S_{\alpha N}(\Omega) = \frac{2S_{u1}}{I_1^4 \left(\frac{\partial R_{d1}}{\partial I_1} \right)^2} \cdot \frac{1}{N} \cdot \frac{p_N^2}{p_N^2 + \Omega^2}. \quad (6)$$

В правой части выражения (1) искусственное выделение множителя $S_{\alpha 1}(\Omega)$ сделано специально, так как при такой записи остальные сомножители представляют величину $S_{\alpha N}(\Omega)/S_{\alpha 1}(\Omega)$, которая по своему физическому смыслу является коэффициентом коллективной трансформации амплитудных шумов $G_{\alpha}(\Omega)$ [13] многодиодного генератора

$$G_{\alpha}(\Omega) = \frac{a^2}{N} \frac{p_1^2 + \Omega^2}{p_1^2 a^2 + \Omega^2}. \quad (7)$$

Этот коэффициент замечателен тем, что позволяет наглядно представить результаты трансформации спектральных компонент шума в зависимости от их частоты, величины динамических параметров системы и т. д.

В дальнейшем, в целях краткости изложения, ограничимся обсуждением величины $G_{\alpha}(\Omega)$ в различных предельных случаях. В общем случае коэффициент коллективной трансформации амплитудных шумов $G_{\alpha}(\Omega)$ зависит от числа диодных модулей, параметра фиксирующей способности контура q_{ϕ} , прочности предельного цикла p_1 , частоты отстройки Ω .

Естественно, наибольший интерес представляет зависимость $G_{\alpha}(\Omega)$ от числа диодных модулей [11]. Характер этой зависимости существенным образом зависит от величины параметра фиксирующей способности контура q_{ϕ} . Если $q_{\phi} \ll 1$, то $a \approx 1$, и на всех частотах отстройки $G_{\alpha}(\Omega) \approx 1/N$. С увеличением q_{ϕ} величина $G_{\alpha}(\Omega)$ при любом N возрастает по сравнению с уровнем $1/N$. При $q_{\phi} \gg N$, когда $a \approx N$, получим

$$G_{\alpha}(\Omega) = N \frac{p_1^2 + \Omega^2}{p_1^2 N^2 + \Omega^2}. \quad (8)$$

В этом случае на достаточно малых частотах отстройки, когда $\Omega \ll p_1 N$, из (8) следует $G_{\alpha}(\Omega) \approx 1/N$. При возрастании Ω до величины $\Omega = p_1 \sqrt{N}$ расчет по формуле (8) дает результат $G_{\alpha}(\Omega) \approx 1$. На высоких частотах отстройки, когда $\Omega \gg p_1 N$, коэффициент $G_{\alpha}(\Omega) \approx N$.

Таким образом, при первом способе настройки генератора и малых частотах Ω увеличение числа диодов приводит к уменьшению уровня амплитудного шума пропорционально $1/N$ при любых значениях параметра q_{ϕ} . Для больших значений частоты Ω и параметра фиксирующей способности контура q_{ϕ} уровень амплитудного шума возрастает пропорционально N .

Расчет спектра амплитудных шумов при втором способе настройки приводит к выражению

$$S_{\alpha N}(\Omega) = S_{\alpha 1}(\Omega) \frac{1}{N}. \quad (9)$$

В этом случае коэффициент коллективной трансформации одинаков на всех частотах и равен $1/N$.

Спектральная плотность флуктуаций частоты

Вначале, как и ранее, рассмотрим спектр флуктуаций частоты сигнала многодиодного генератора при первом способе его настройки. Двухсторонняя спектральная плотность $S_{vN}(\Omega)$ флуктуаций $v(t)$ круговой частоты ω сигнала N -диодного генератора, рассчитанная в [12] для этого случая имеет вид

$$S_{vN}(\Omega) = S_{v1}(\Omega) \frac{a^2}{N} \frac{1 + \frac{q_1^2 a^2}{p_1^2 a^2 + \Omega^2}}{1 + \frac{q_1^2}{p_1^2 + \Omega^2}}, \quad (10)$$

где спектральная плотность $S_{v1}(\Omega)$ флуктуаций $v(t)$ круговой частоты ω сигнала однодиодного генератора рассчитывается по формуле

$$S_{v1}(\Omega) = \frac{2S_{u1}}{I_1^2 (X_1')^2 (q_\phi + 1)^2} \left(1 + \frac{q_1^2}{p_1^2 + \Omega^2} \right), \quad (11)$$

где q_1 – неизохронность однодиодного генератора

$$q_1^2 = \frac{I_1^2}{(X_1')^2 (q_\phi + 1)^2} \left(\frac{\partial X_1}{\partial I_1} \right)^2, \quad (12)$$

$$q_1 a = q_N, \quad (13)$$

где q_N – неизохронность многодиодного генератора.

В случае необходимости подстановка выражения (11) в (10) позволяет вскрыть реальную зависимость $S_{vN}(\Omega)$ от частоты флуктуаций. Используя формулы (5) и (13), соотношение (10) можно выразить также через прочность предельного цикла p_N и неизохронность q_N многодиодного генератора. Множитель при $S_{v1}(\Omega)$ в правой части равенства (10) представляет собой коэффициент коллективной трансформации частотных шумов $G_v(\Omega)$ в многодиодном генераторе

$$G_v(\Omega) = \frac{a^2}{N} \frac{1 + \frac{q_1^2 a^2}{p_1^2 a^2 + \Omega^2}}{1 + \frac{q_1^2}{p_1^2 + \Omega^2}}. \quad (14)$$

Если параметр фиксирующей способности контура мал $q_\phi \ll 1$ ($a \approx 1$), то коэффициент коллективной трансформации $G_v(\Omega)$ практически не зависит от частоты и с ростом числа диодов уменьшается пропорционально $1/N$.

Если величина параметра q_Φ высока и $q_\Phi \gg N$ ($a \approx N$), то из (14) следует

$$G_v(\Omega) = N \frac{(p_1^2 + q_1^2)N^2 + \Omega^2}{p_1^2 N^2 + \Omega^2} \frac{p_1^2 + \Omega^2}{(p_1^2 + q_1^2) + \Omega^2}. \quad (15)$$

Коэффициент $G_v(\Omega)$ зависит от частоты Ω , но в предельных случаях, когда частота отстройки мала $\Omega^2 \ll (p_1^2 + q_1^2)N^2$ или очень велика $\Omega^2 \gg (p_1^2 + q_1^2)N^2$, его значения совпадают и численно равны N [6–8].

При втором способе настройки генератора расчет спектра флуктуаций частоты многодиодного генератора приводит к результату [12]:

$$S_{vN}(\Omega) = S_{v1}(\Omega) \frac{1}{N}. \quad (16)$$

Взаимная спектральная плотность амплитудно-частотных флуктуаций

При первом способе настройки многодиодного генератора взаимные спектральные плотности $S_{\alpha vN}(\Omega)$ и $S_{\alpha v1}(\Omega)$ флуктуаций $\alpha(t)$ амплитуды и $v(t)$ круговой частоты сигналов соответственно многодиодного и однодиодного генераторов, рассчитанные в [14], могут быть представлены так:

$$S_{\alpha vN}(\Omega) = S_{\alpha v1}(\Omega) \frac{a^3}{N} \frac{p_1^2 + \Omega^2}{p_1^2 a^2 + \Omega^2}, \quad (17)$$

$$S_{\alpha v1}(\Omega) = -\frac{2S_{u1}}{I_1^2(X_1')^2(q_\Phi + 1)^2} \frac{q_1}{p_1^2 + \Omega^2}. \quad (18)$$

Согласно (17) и (18) коэффициент коллективной трансформации $G_{\alpha v}(\Omega)$ спектра амплитудно-частотных флуктуаций имеет вид

$$G_{\alpha v}(\Omega) = \frac{a^3}{N} \frac{p_1^2 + \Omega^2}{p_1^2 a^2 + \Omega^2}. \quad (19)$$

При низких значениях параметра фиксирующей способности контура, удовлетворяющих условию $q_\Phi \ll 1$ ($a \approx 1$), коэффициент коллективной трансформации $G_{\alpha v}(\Omega)$ практически не зависит от частоты Ω и с ростом числа диодов уменьшается по закону $1/N$.

Для высоких значений q_Φ , когда $q_\Phi \gg N$ ($a \approx N$), появляется зависимость $G_{\alpha v}(\Omega)$ от частоты, т. е. коэффициенты трансформации отдельных спектральных компонент флуктуаций становятся разными, и тогда

$$G_{\alpha v}(\Omega) = N^2 \frac{p_1^2 + \Omega^2}{p_1^2 N^2 + \Omega^2}. \quad (20)$$

В этом случае на малых частотах флуктуаций, когда $\Omega \ll p_1$, коэффициент трансформации практически равен 1. На высоких частотах флуктуаций, когда $\Omega \gg N$, коэффициент трансформации взаимного спектра $G_{\alpha\nu}(\Omega)$ растет пропорционально N^2 .

Расчет взаимной спектральной плотности амплитудно-частотных флуктуаций сигнала при втором способе настройки показывает, что при увеличении числа диодов она падает на всех частотах:

$$S_{\alpha\nu N}(\Omega) = \frac{1}{N} S_{\alpha\nu 1}(\Omega) . \quad (21)$$

Спектральная плотность флуктуаций фазы

Поскольку флуктуация частоты $\nu(t)$ является производной от флуктуации фазы $\varphi(t)$ сигнала, спектральные плотности этих случайных функций связаны соотношением [15, 16]

$$S_\nu(\Omega) = \Omega^2 S_\varphi(\Omega) . \quad (22)$$

Строго говоря, фаза колебаний автогенератора статистически нестационарна. Однако достаточно быстрые изменения фазы, т. е. флуктуации фазы на частотах Ω , превышающих ширину спектральной линии, можно приближенно считать стационарными, что позволяет вводить в рассмотрение спектр флуктуаций фазы как независимый от времени параметр [15]. При указанных ограничениях, накладываемых на величину Ω , спектр флуктуаций фазы можно найти, не обращаясь к флуктуационным уравнениям, а используя соотношение (22) и соответствующее выражение для $S_\nu(\Omega)$.

При первом способе настройки подстановка выражения (22) в равенства (10) и (11) позволяет представить спектральные плотности флуктуаций фазы $S_{\varphi N}(\Omega)$, $S_{\varphi 1}(\Omega)$ многодиодного и однодиодного генераторов соответственно в следующем виде:

$$S_{\varphi N}(\Omega) = S_{\varphi 1}(\Omega) \frac{a^2}{N} \frac{1 + \frac{q_1^2 a^2}{p_1^2 a^2 + \Omega^2}}{1 + \frac{q_1^2}{p_1^2 + \Omega^2}} , \quad (23)$$

$$S_{\varphi 1}(\Omega) = \frac{2S_{u1}}{I_1^2 (X_1')^2 (q_\phi + 1)^2} \frac{1}{\Omega^2} \left(1 + \frac{q_1^2}{p_1^2 + \Omega^2} \right) . \quad (24)$$

Как следует из выражений (23) и (24), зависимости спектров флуктуаций фазы от частоты флуктуаций Ω существенно отличаются от аналогичных закономерностей в спектрах флуктуаций частоты. Однако коэффициент коллективной трансформации фазовых флуктуаций

$$G_\varphi(\Omega) = S_{\varphi N}(\Omega)/S_{\varphi 1}(\Omega)$$

совпадает с аналогичной величиной для частотных флуктуаций $G_v(\Omega)$. Его величина в предельных случаях, когда $q_\phi \ll 1$ и $q_\phi \gg N$, проанализирована выше.

При втором способе настройки генератора расчет приводит к следующей связи спектральных плотностей флуктуаций фазы:

$$S_{\phi N}(\Omega) = S_{\phi 1}(\Omega) \frac{1}{N}. \quad (25)$$

Взаимная спектральная плотность амплитудно-фазовых флуктуаций

С учетом замечаний, сделанных выше, взаимную спектральную плотность амплитудно-фазовых флуктуаций $S_{\alpha\phi}(\Omega)$ при любом способе настройки можно выразить через взаимный спектр амплитудно-частотных флуктуаций $S_{\alpha v}(\Omega)$ сигнала при помощи соотношения [14]:

$$S_{\alpha v}(\Omega) = -j\Omega S_{\alpha\phi}(\Omega), \quad (26)$$

где j – мнимая единица.

Используя выражения (17), (18), соответствующие первому способу настройки генератора, и равенство (26), нетрудно записать взаимные спектральные плотности амплитудно-фазовых флуктуаций многодиодного $S_{\alpha\phi N}(\Omega)$ и однодиодного $S_{\alpha\phi 1}(\Omega)$ генераторов следующим образом:

$$S_{\alpha\phi N}(\Omega) = S_{\alpha\phi 1}(\Omega) \frac{a^3}{N} \frac{p_1^2 + \Omega^2}{p_1^2 a^2 + \Omega^2}, \quad (27)$$

$$S_{\alpha\phi 1}(\Omega) = -j \frac{2S_{u1}}{I_1^2 (X_1')^2 (q_\phi + 1)^2} \frac{q_1}{\Omega(p_1^2 + \Omega^2)}. \quad (28)$$

Выражения (27) и (28) отличаются от взаимных амплитудно-частотных спектров, прежде всего, характером зависимости от частоты. Кроме того, они являются мнимыми. Последнее обстоятельство является следствием принятого в расчете пренебрежения корреляцией квадратурных компонент шума внутренних источников. Можно показать, что учет указанной корреляции вызывает появление в (27) и (28) вещественных частей.

При первом способе настройки генератора коэффициенты коллективной трансформации взаимных амплитудно-фазовых $G_{\alpha\phi}(\Omega) = S_{\alpha\phi N}(\Omega)/S_{\alpha\phi 1}(\Omega)$ и амплитудно-частотных спектров $G_{\alpha v}(\Omega)$ оказываются одинаковыми. Их величина в предельных случаях, когда $q_\phi \ll 1$ и $q_\phi \gg N$, уже рассмотрена.

Аналогичный расчет при втором способе настройки генератора приводит к следующей связи взаимных амплитудно-фазовых спектров

$$S_{\alpha\phi N}(\Omega) = S_{\alpha\phi 1}(\Omega) \frac{1}{N}. \quad (29)$$

Подводя итог, подчеркнем, что зависимость шумовых характеристик многодиодного генератора от выбора стратегии его настройки и свойств электродинамической системы приводит к тому, что с увеличением числа диодов уровни спектров флуктуаций сигнала могут как уменьшаться, так и увеличиваться. Таким образом, решение проблемы минимизации шумов выходного сигнала связано с выбором оптимальных методов настройки и параметров колебательной системы

В заключение отметим, что основные выводы представленной теории были подтверждены экспериментально на макетах многодиодных генераторов волноводно-коаксиальной конструкции с использованием многоструктурных ЛПД 1,5-сантиметрового диапазона длин волн [7, 17, 18].

Приведенные данные о спектрах и коэффициентах коллективной трансформации флуктуаций сигнала необходимо принимать во внимание при разработке и настройке многодиодных генераторов, а также при объяснении результатов эксперимента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Носков В. Я., Варавин А. В., Васильев А. С., Ермак Г. П., Закарлюк Н. М., Игнатков К. А., Смольский С. М. Современные гибридно-интегральные автодинные генераторы микроволнового и миллиметрового диапазонов и их применение : в 9 ч. Ч. 9 : Радиолокационное применение автодинов // Успехи современной радиоэлектроники. 2016. № 3. С. 32–86.
2. Носков В. Я. Двухдиодный автодинный приемопередатчик // Приборы и техника эксперимента. 2015. № 4. С. 65–70.
3. Шаповалов А. С. Исследование флуктуаций сигнала полупроводникового СВЧ-генератора // Вопр. электроники СВЧ : межвуз. науч. сб. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та. 1985. Вып. 14. С. 15–22.
4. Хрусталева А. В. Современный уровень и тенденции развития техники сложения мощностей активных полупроводниковых приборов СВЧ-диапазона // Обзоры по электронной технике. Сер. 1. Электроника СВЧ. 1988. Вып. 13(1288). С. 1–64.
5. Kurokawa K. The single-cavity multiple-device oscillator // IEEE Trans. 1971. Vol. MTT-19, № 10. P. 793–801.
6. Абрамов С. М., Гершензон Е. М., Левитес А. А., Плохова Л. А. Особенности работы многодиодного СВЧ-генератора в автономном режиме и режиме внешней синхронизации // Радиотехника и электроника. 1988. Т. 33, № 1. С. 103–113.
7. Кудряшов С. А., Шаповалов А. С. Анализ энергетических и шумовых характеристик многодиодных СВЧ-генераторов при различных способах настройки // Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника. 1997. Вып. 2. С. 28–31.
8. Кудряшов С. А., Шаповалов А. С., Шаповалов С. А. Исследование многодиодных СВЧ-генераторов с суммированием мощности в общем резонаторе // Вопр. прикладной физики : межвуз. науч. сб. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та. 1997. Вып. 3. С. 47–70.
9. Шаповалов А. С. Исследование шумов твердотельного СВЧ-генератора в режиме синхронизации // Вопр. прикладной физики : межвуз. науч. сб. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та. 1989. Вып. 1. С. 16–28.
10. Шаповалов А. С. Исследование влияния сверхвысокочастотных и низкочастотных источников флуктуаций на шумовые параметры твердотельного генератора // Вопр. прикладной физики : межвуз. науч. сб. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та. 1989. Вып. 2. С. 3–19.

11. Шаповалов А. С., Шаповалов С. А., Кудряшов С. А. Амплитудный шум многодиодных генераторов СВЧ // Вопр. прикладной физики : межвуз. науч. сб. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та. 2003. Вып. 9. С. 86–88.
12. Шаповалов А. С., Шаповалов С. А. Частотный шум многодиодных генераторов СВЧ // Вопр. прикладной физики : межвуз. науч. сб. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та. 2004. Вып. 10. С. 22–26.
13. Шаповалов А. С., Машиников В. В., Минкин Л. М., Шаповалов С. А. Система коэффициентов коллективной трансформации флуктуаций многодиодного генератора СВЧ // Вопр. прикладной физики : межвуз. науч. сб. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та. 2010. Вып. 17. С. 33–38.
14. Шаповалов А. С., Машиников В. В., Шаповалов С. А. Взаимный спектр амплитудно-частотных флуктуаций сигнала многодиодного генератора СВЧ // Вопр. прикладной физики : межвуз. науч. сб. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та. 2005. Вып. 12. С. 84–89.
15. Свешников А. А. Прикладные методы теории случайных функций. М. : Наука, 1968. 464 с.
16. Корнилов С. А., Савшинский В. А., Уман С. Д. Шумы клистронных генераторов малой мощности. М. : Сов. радио, 1972. 200 с.
17. Никитин А. А., Шаповалов А. С. Экспериментальное исследование многодиодных генераторов на многоструктурных ЛПД // Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника. 1999. Вып. 2. С. 7–9.
18. Шаповалов А. С., Никитин А. А., Кудряшов С. А. Многодиодный СВЧ-генератор с электрической перестройкой частоты // Электронная техника. Сер. 1. Электроника СВЧ. 1991. Вып. 10. С. 19–21.

УДК 537.86.029

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ КОЛЕБАНИЙ С УЧЕТОМ ПОЛЕЙ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ЗАРЯДА И СТАТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА

В. Б. Байбурун, А. С. Розов, А. В. Ляшенко*

Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю. А.
Россия, 410054, Саратов, Политехническая, 77
E-mail: fog545@mail.ru

*ОАО «Институт критических технологий»
Россия, 410040, Саратов, пр. 50 лет Октября, 110А
E-mail: kbkt@renet.ru

Данная статья продолжает цикл исследований, посвященных процессу параметрической генерации в скрещенных полях. Рассмотрено влияние поля пространственного заряда на процесс параметрической генерации. Приведены основные выходные параметры генерации.

Ключевые слова: ларморова орбита, параметрическая генерация, циклотронная частота, пространственный заряд, КПД.

Parametric Generation of High-Frequency Oscillations with Accounting of Space Charge and Static Potential

V. B. Baiburin, A. S. Rozov, A. V. Lyashenko

This article continues a series of studies devoted to the process of parametric generation in crossed fields. The effect of the space charge field in the process of parametric generation is considered. In final we show the main output characteristics of generation.

Key words: Larmor orbit, parametric generation, cyclotron frequency, space charge, coefficient of efficiency.

В работе [1] было высказано предположение о возможности генерации высокочастотных колебаний в системе со скрещенными полями для пространства взаимодействия, состоящего из двух коаксиальных цилиндров, в отсутствие статического электрического поля. В работах [2–5] авторами было показано, что подобную генерацию можно получить путем введения в пространство взаимодействия переменной магнитной индукции с частотой изменения по времени равной или кратной циклотронной частоте. При этом влияния пространственного заряда и постоянного электрического потенциала рассматривались отдельно друг от друга. В данной статье рассмотрен процесс магнитной параметрической генерации с учетом одновременно обоих факторов. Анализ проводился в приближении заданного ВЧ-потенциала [2] применительно к цилиндрическому пространству взаимодействия, изображенному на рис. 1, где \mathbf{E}_0 , \mathbf{E}_r , \mathbf{E}_ϕ – статическое, радиальное и вихревое электрические поля соответственно, $\mathbf{B}(t)$ – переменная магнитная индукция, R_1 – радиус внутреннего цилиндра (катода), R_2 – радиус внешнего цилиндра (анода).

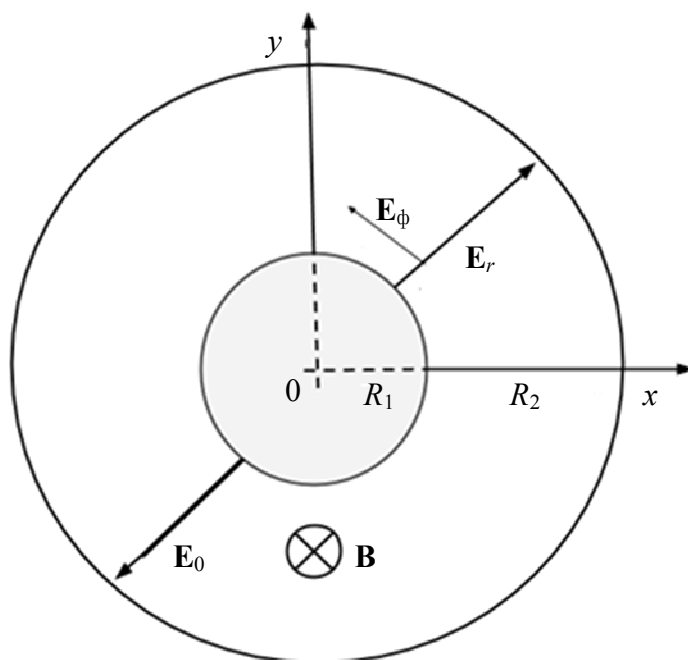


Рис. 1. Схема цилиндрического пространства взаимодействия

Система уравнений движения заряженной частицы применительно к схеме на рис. 1 записывается в виде:

$$\begin{aligned}\ddot{x} &= \eta E_x(x, y, t) + B(x, y, t) \dot{y}, \\ \ddot{y} &= \eta E_y(x, y, t) - B(x, y, t) \dot{x},\end{aligned}\tag{1}$$

где $\eta = e/m$ (e – заряд частицы, m – ее масса); $E_x(x, y, t)$, $E_y(x, y, t)$, $B(x, y, t)$ – компоненты переменного электрического поля и переменная во времени магнитная индукция соответственно.

Компоненты электрического поля представляют собой сумму из соответствующих составляющих электрических полей (статического с индексом 0, радиального с индексом r , высокочастотного (ВЧ), вихревого с индексом ϕ) и полей пространственного заряда $E_{\text{пр.з.}}$:

$$\begin{aligned}E_x(x, y, t) &= E_{x0}(x, y) + E_{xr}(x, y, t) + E_{x\phi}(y, t) + E_{\text{пр.з.}}, \\ E_y(x, y, t) &= E_{y0}(x, y) + E_{yr}(x, y, t) + E_{y\phi}(x, t) + E_{\text{пр.з.}}.\end{aligned}\tag{2}$$

Для $E_{x0}(x, y)$ и $E_{y0}(x, y)$ запишем [5]

$$\begin{aligned}E_{x0}(x, y) &= x \frac{U_0}{r^2 \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}, \\ E_{y0}(x, y) &= y \frac{U_0}{r^2 \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)},\end{aligned}\tag{3}$$

где U_0 – амплитуда заданного статического потенциала; $r = \sqrt{x^2 + y^2}$.

Для $E_{xr}(x, y, t)$ и $E_{yr}(x, y, t)$ можно записать [3]

$$\begin{aligned}E_{xr}(x, y, t) &= x \frac{\tilde{U}_0}{r^2 \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)} \sin(\omega_E t), \\ E_{yr}(x, y, t) &= y \frac{\tilde{U}_0}{r^2 \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)} \sin(\omega_E t),\end{aligned}\tag{4}$$

где \tilde{U}_0 – амплитуда заданного высокочастотного потенциала; ω_E – частота переменного высокочастотного электрического поля.

Переменная во времени магнитная индукция $B(t)$ определяется соотношением [3]:

$$B(t) = B_0 + \Delta B \sin(\omega_B t), \quad (5)$$

где B_0 – статическая составляющая магнитной индукции; ΔB – амплитуда переменной компоненты магнитной индукции; ω_B – частота изменения переменной компоненты магнитной индукции.

Вихревые электрические поля задаются соотношениями [6]:

$$\begin{aligned} E_{x\phi}(y, t) &= y\Delta\omega_B \cos(\omega_B t), \\ E_{y\phi}(x, t) &= -x\Delta\omega_B \cos(\omega_B t). \end{aligned} \quad (6)$$

Поле пространственного заряда определяется выражением [7]:

$$E_{\text{пр.з}}(x, y) = -\frac{\rho_0}{r(x, y)} \left[\frac{(R_2^2 - R_1^2)}{4r(x, y) \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)} + \frac{r(x, y)}{2} \right], \quad (7)$$

где ρ_0 – плотность зарядов в пространстве взаимодействия.

Расчеты проведем численно по методу, описанному в работе [3]. Для этого примем следующие значения параметров:

$$\begin{aligned} U_0 &= 50 \text{ В}, \\ \omega_E &= 1,76 \cdot 10^{10} \text{ Гц}, \\ \omega_B &= 1,76 \cdot 10^{10} \text{ Гц}, \\ \tilde{U}_0 &= 1200 \text{ В}, \\ B_0 &= 0,05 \text{ Тл}, \\ \Delta B &= B_0/50 = 0,001 \text{ Тл}. \end{aligned}$$

Рассмотрим влияние каждого фактора на процесс генерации отдельно.

Влияние поля пространственного заряда на траекторию. Максимальная плотность зарядов в пространстве взаимодействия может быть определена по известной формуле [3]

$$\rho_0 = \varepsilon_0 \eta B_0^2, \quad (8)$$

где ε_0 – электрическая константа.

Траектории заряженных частиц для случаев $\rho_0 = 0$ и $\rho_0 = 0,0052 \text{ Кл/м}^3$, что соответствует бриллюэновской плотности зарядов при магнитном поле $B_0 = 0,05 \text{ Тл}$, показаны на рис. 2

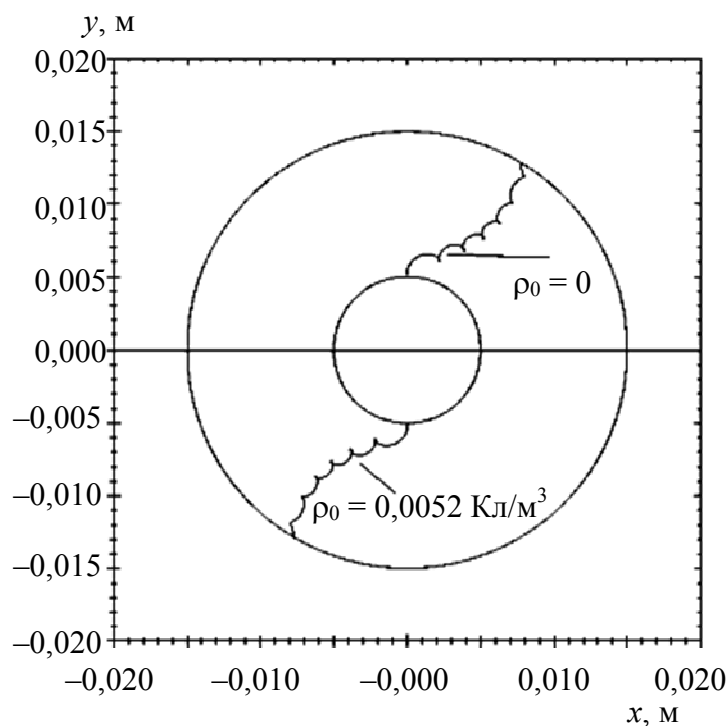


Рис 2. Траектории заряженных частиц в пространстве взаимодействия для заданных параметров при $U_0 = 0$

Как видно из рис. 2, поле пространственного заряда практически не влияет на вид траектории. В частности, при одинаковых точках вылета заряженной частицы траектории сливаются.

Рассмотрим влияние статического электрического поля на траекторию. Примем $\rho_0 = 0$ и $U_0 = 50$ В. Соответствующие траектории представлены на рис. 3.

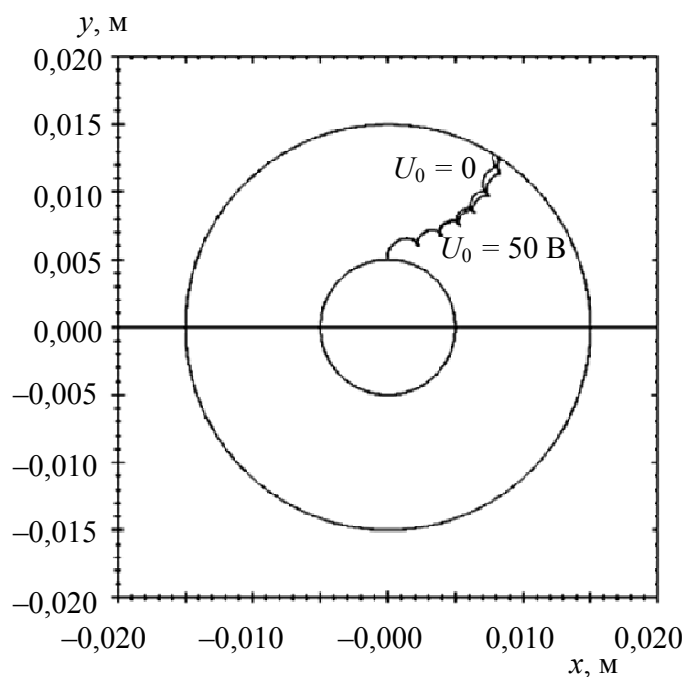


Рис. 3. Траектории заряженных частиц в пространстве взаимодействия при $\rho_0 = 0$, $U_0 = 0$ и $U_0 = 50$ В. Старт частиц происходит из одной точки

Как видно из рис. 3, траектории имеют некоторое отличие. Однако при этом, как показывают расчеты, время пролета в случае учета статического потенциала несколько меньше, что приводит к большей величине КПД.

Рассмотрим траектории с учетом двух факторов одновременно для случая $U_0 = 50$ В, $\rho_0 = 0,0052$ Кл/м³.

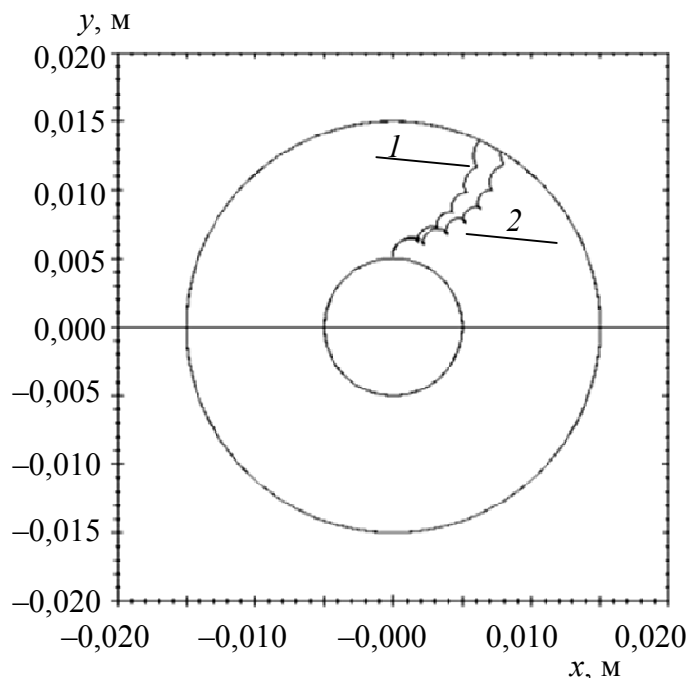


Рис. 4. Траектории заряженных частиц в пространстве взаимодействия: 1 – с учетом рассмотренных факторов при $U_0 = 50$ В, $\rho_0 = 0,0052$ Кл/м³; 2 – без учета рассмотренных факторов $U_0 = 0$, $\rho_0 = 0$

Как видно из рис. 4, траектории существенно отличаются, при этом время пролета для траектории с одновременным учетом факторов на 17% меньше, чем для случая, представленного на рис. 3.

Значения выходных параметров генерации для $\omega_E = 1,76 \cdot 10^{10}$ Гц, $\omega_B = 1,76 \cdot 10^{10}$ Гц приведены в таблице, где I_n – наведенный ток, I_a – ток анода, P_n – наведенная ВЧ-мощность. Параметры рассчитаны по формулам работы [8].

Основные выходные характеристики для рассмотренных случаев генерации

ρ_0 , Кл/м ³	U_0 , В	\tilde{U}_0 , В	I_n , А	I_a , А	P_n , Вт	КПД, %
0	0	1200	3,444	1,75	2065	0,71
0,0052	0	1200	3,444	1,75	2044	0,70
0	50	1200	3,444	2,73	2265	0,74
0,0052	50	1200	3,34	2,73	2566	0,81

Как видно из таблицы, одновременный учет статического электрического поля и полей пространственного заряда, повышает эффективность генерации. Полученные результаты могут оказаться полезными при разработке новых СВЧ-устройств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Каница П. Л.* Электроника больших мощностей. М. : Изд-во Академии наук СССР, 1962. 196 с.
2. *Baiburin V. B., Rozov A. S., Khorovodova N. Yu.* Parametric generation in frequency multiply modes // Int. conf. of actual problems of electron device engineering (APEDE`2016). Saratov : IEEE Inc. 2016. Vol. 1. P. 178–181.
3. *Байбурин В. Б., Розов А. С., Терентьев А. А., Хороводова Н. Ю.* Параметрическая генерация в скрещенных полях. Саратов : ООО «Кубик», 2016. 96 с.
4. *Rozov A. S., Baiburin V. B.* Generation in Crossed Fields Under Parametric Variation in the Magnetic Field // J. of Communications Technology and Electronics. USA : Pleiades Publishing Ltd. 2016. Vol. 61, № 3. P. 267–271.
5. *Байбурин В. Б., Розов А. С., Терентьев А. А.* Влияние статического электрического поля на эффективность параметрической генерации в скрещенных полях // Радиотехника. 2015. № 7. С. 45–47.
6. *Байбурин В. Б., Куцко П. П., Мещанов В. П., Розов А. С., Терентьев А. А.* Учет вихревых электрических полей при параметрической генерации в скрещенных полях // Электромагнитные волны и электронные системы. 2015. Т. 20, № 2. С. 77–80.
7. *Байбурин В. Б., Хороводова Н. Ю.* Анализ траекторий заряженных частиц в постоянных и переменных электрических и магнитных полях. Саратов : Изд. дом «Райт-Экспо», 2014. 224 с.
8. *Байбурин В. Б., Розов А. С., Терентьев А. А.* Оценка КПД при параметрической генерации в скрещенных полях // Радиотехника. 2015. № 7. С. 45–47.

УДК 629.7.05

УСТРОЙСТВА ДЛЯ МАГНИТНОЙ НАВИГАЦИИ (обзор патентов)

А. А. Игнатьев, С. П. Кудрявцева, Л. А. Романченко

Саратовский национальный исследовательский
государственный университет имени Н. Г. Чернышевского
Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83
E-mail: lari_rrr@mail.ru

Приводятся результаты поиска и анализа патентов европейской базы данных 2017 г. по устройствам высокоточной магнитной навигации, включающим датчики магнитного поля, акселерометры, блоки обработки сигналов.

Ключевые слова: магнитная навигационная система, датчик магнитного поля, девиация магнитного поля, акселерометр.

Magnetic Navigation Devices (Patent Review)

A. A. Ignatiev, S. P. Kudryavceva, L. A. Romanchenko

There presented results of search and analysis of the 2017 European database patent on high-precision magnetic navigation devices, including magnetic field sensors, accelerometers, signal processing units.

Key words: magnetic navigation system, magnetic field sensor, magnetic deviation, accelerometer.

Магнитные навигационные системы являются одним из видов современной навигации. Главным достоинством таких систем навигации является их автономность, когда невозможно получить сигнал со спутника, например, под землей, под водой, в тоннелях, при плохих погодных условиях, что является особенно актуальным для акваторий Арктики [1–3]. Устройства для осуществления магнитной навигации включают датчики геомагнитной и угловой информации, системы сравнения, коррекции, вычисления и выдачи выходных сигналов. Магнитные датчики должны обладать высокой чувствительностью для регистрации малых девиаций достаточно слабого магнитного поля, что представляет сложную задачу из-за изменений параметров магнитного поля Земли во времени по случайному закону в зависимости от ряда физических причин, а также влияния внешних ферромагнитных объектов. Поэтому проблема создания высокочувствительных миниатюрных сенсоров, позволяющих определять три компоненты магнитного поля, продолжает оставаться актуальной [4–6].

Ниже приводится информация (в авторском переводе иностранных патентов) об изобретениях, технические решения которых направлены на повышение точности геомагнитной навигации за счет новой элементной базы и способов обработки сигналов.

Патент 106483965 (Китай) «Inertial integrated navigation system based on magnetic nail deviation correction and position encoder assistance» опубликован 08.03.2017. Изобретение представляет инерциальную навигационную систему летательного аппарата, основанную на магнитной коррекции. Устройство содержит магнитный датчик, датчик положения, контроллеры. Целью изобретения является улучшение навигационной точности.

Патент 2612898 (Россия) «Навигационная система маршрутного пилотирования летательных аппаратов в арктических акваториях» опубликован 13.03.2017. Разработанная навигационная система содержит подводный токоведущий кабель, проложенный между взлетно-посадочными пунктами материково-островной акватории, и установленные на летательных аппаратах (ЛА):

- забортное приемное устройство, состоящее, по меньшей мере, из трех ортогонально расположенных магнитоприемников, оси чувствительности которых направлены по трем главным осям ЛА;

- бортовое устройство регистрации параметров магнитной составляющей электромагнитного поля, генерированного подводным токоведущим кабелем.

В патенте приведен рисунок с функциональной схемой бортовой аппаратуры, включающей три магнитоприемника, шесть усилителей, измерительный блок, блоки измерения кабельного курса и положения ЛА относительно трассы, вычислительное устройство, датчик высоты полета, блоки индикации, сигнализации, питания. В качестве магнитоприемников предлагается использовать высокочувствительные индукционные катушки. В ходе

прохождения ЛА над токоведущим кабелем магнитоприемники регистрируют магнитную составляющую. Бортовая аппаратура усиливает и обрабатывает зарегистрированный сигнал и формирует кабельный курс ЛА, т. е. угол между прямолинейным участком кабеля и направлением продольной оси ЛА. Практическое использование изобретения позволит разработать отдельные подводные кабельные маршруты для решения текущих задач освоения Арктики, а также использовать беспилотные ЛА для маршрутных полетов по трассе ведущего кабеля. Технический результат изобретения состоит в повышении надежности и безопасности навигационного обеспечения маршрутного пилотирования ЛА на прибрежных акваториях арктического сектора.

В патенте 2017074660 (США) «Magnetic Field Gradient Navigation Aid», опубликованном 16.03.2017, описывается технология определения географического положения объекта. Устройство предусматривает измерение градиентов магнитного поля вдоль траектории движения и их сравнение с градиентами поля геомагнитной карты. Оно содержит блок, состоящий из гироскопа и магнитометра, и измерительный модуль градиента скорости.

Патент 106679658 (Китай) «Non-signaled reverse navigation system» опубликован 17.05.2017. Изобретение относится к безсигнальной навигации. Устройство включает шестиосный гироскоп для определения перемещения и трехосный магнитометр. Приведена блок-схема устройства и схемы обработки сигналов.

В патенте 2017089706 (США) «Magnetometer arrays for inertial navigation, mapping, and drift compensation», опубликованном 30.03.2017, предложено устройство, позволяющее создавать карту магнитного поля для конкретной среды, определять с высокой точностью местоположение, скорость и ускорение, а также корректировать дрейфовые эффекты. В состав устройства входят трехосный магнитометр, акселерометр, гироскоп, приемник спутниковых сигналов. Данные магнитометра поступают в процессор.

Еще одна навигационная система летательного аппарата, содержащая магнитометр для определения величины и направления магнитного поля, описывается в патенте 2017110015 (США) «Magnetic navigation methods and systems utilizing grid and communication network», опубликованном 20.04.2017.

Патент 106595653 (Китай) «Wearable autonomous navigation system for pedestrian and navigation method thereof» опубликован 26.04.2017. Изобретение представляет автономную навигационную систему для пешехода. Система включает пять сенсорных модулей и один процессор. Сенсорные модули располагаются на голове, руках и ногах пешехода. Каждый сенсорный модуль содержит микроконтроллер, инерциальное измерительное устройство, магнитный датчик, датчик давления. В свою очередь, инерциальное измерительное устройство содержит трехосные акселерометр и гироскоп. Пять сенсорных модулей воспринимают навигационную информацию и передают ее процессору.

В патенте 2017234685 (США) «Apparatus and method to aid magnetic positioning and navigation», опубликованном 10.08.2017, предложены аппаратура и метод для определения внешних по отношению к летательному аппарату объектов, способных изменять магнитное поле. Аппаратура включает четыре постоянных магнита, например, из самария-кобальта или неодима, расположенных симметрично по углам квадрата. Приводится топография магнитного поля таких магнитов в отсутствие внешних объектов и при их наличии. Представлен также графический материал, иллюстрирующий изменения интенсивности магнитного поля вдоль направления движения при отсутствии внешних объектов и при их наличии. Прибор для измерения магнитного поля не конкретизируется.

Из анализа приведенной патентной информации следует, что в большинстве патентов разрабатываемые современные навигационные системы являются системами комбинированного типа, включающими трехосные блоки магнитометров, акселерометров, гироскопов, а также блок спутниковой навигации. Все навигационные системы имеют блоки обработки измерительной информации. Все изобретения направлены на повышение точности определения координат позиционирования и погрешностей определения параметров ориентации объектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Михлин Б. З., Селезнев В. П., Селезнев А. В. Геомагнитная навигация. М. : Машиностроение, 1976. 280 с.
2. Игнатъев А. А., Куликов М. Н., Кудрявцева С. П., Романченко Л. А., Страхова Л. Л. Автономные навигационные системы (патентно-информационные исследования) // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2008. Вып. 5 : Прикладные аспекты микро- и нанозлектроники. С. 104–112.
3. Игнатъев А. А., Кудрявцева С. П., Куликов М. Н., Страхова Л. Л. Магнитная навигация подвижных объектов (анализ патентной документации) // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2012. Вып. 12 : Гетеромагнитная микро- и нанозлектроника. Методические аспекты физического образования. Экономика в промышленности. С. 76–94.
4. Игнатъев А. А., Кудрявцева С. П., Маслов А. А., Васильев А. В. Высокочувствительные сенсоры слабых магнитных полей (обзор патентов) // Гетеромагнитная микроэлектроника: сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2016. Вып. 20 : Теоретические и экспериментальные исследования, компьютерные технологии. Методические аспекты физического образования. Экономика в промышленности. С. 38–40.
5. Игнатъев А. А., Кудрявцева С. П., Куликов М. Н., Романченко Л. А., Страхова Л. Л. Микродатчики магнитного поля и механических воздействий (патентные исследования) // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2008. Вып. 4 : Гетеромагнитная микро- и нанозлектроника. Прикладные аспекты. Устройства различного назначения. С. 68–74.
6. Игнатъев А. А., Ляшенко А. В., Костяков В. А., Кудрявцева С. П., Романченко Л. А., Сотов Л. С., Страхова Л. Л., Хвалин А. Л. Отечественные и зарубежные патенты по магнитометрическим датчикам и магнитометрам за 1994–2003 годы // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. докл. и ст. науч.-техн. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2004. Вып. 1 : Многофункциональные комплексированные устройства и системы СВЧ- и КВЧ-диапазонов. С. 149–162.

УСТРОЙСТВА ДЛЯ МАНИПУЛЯЦИИ БИТАМИ ДАННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Л. Л. Страхова, Л. С. Сотов, А. Л. Хвалин

Саратовский национальный исследовательский
государственный университет имени Н. Г. Чернышевского
Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83
E-mail: Strakhovall@mail.ru

В статье приведены результаты патентных исследований в области разработки, использования и улучшения характеристик устройств манипуляции битами данных вычислительной техники.

Ключевые слова: многоуровневая коммутационная схема, префиксный сумматор, манипуляция битами.

Device for the Data Bits Manipulation Computing

L. L. Strakhova, L. S. Sotov, A. L. Khvalin

The results of patent researches in the sphere of development, using and improving of characteristics of devices for manipulation with bits of data of computer facilities are considered in the article.

Key words: multistage interconnection network, prefix adder, bit manipulation.

В результате проведения патентных исследований определены классификационные рубрики (МКИ, МПК), осуществлен поиск патентной документации по этим рубрикам в журналах «Изобретения стран мира», в *Internet*, проведен анализ и систематизация патентов по методам и аппаратурным средствам для выполнения операций формирования изоморфных представлений или преобразования форматов данных в вычислительной технике, удовлетворяющим следующим требованиям:

- совместимость со структурой 32/64 разрядных *RISC*-процессоров;
- применение стандартной цифровой элементной базы и возможность изготовления в виде интегральной микросхемы.

Для дальнейшего анализа отобраны 38 [1–38] патентов и составлены таблицы, показывающие, как эти патенты распределены по странам (табл. 1) и годам (табл. 2) опубликования.

Таблица 1

Распределения патентов по странам

Страна	Россия (RU)	США (US)	РСТ (WO)	Япония (JP)	Тайвань (TW)
Количество патентов	11	22	2	2	1

Распределение патентов по годам опубликования

Год	2002	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Количество патентов	3	8	5	2	2	1	3
Год	2010	2011	2013	2014	2015	2017	
Количество патентов	5	4	1	1	1	2	

Проведенные патентные исследования показали, что по данной тематике в настоящее время наиболее интенсивные исследования ведутся в России (11 патентов) и США (22 патента).

Ведущими фирмами по разработке устройств для выполнения перестановок и манипуляций с битами данных в России и за рубежом являются: ГУП «Специализированный центр программных систем "СПЕКТР"» [RU], ГОУ ВПО «Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского» [RU], UNIV PRINCETON, HEWLETT PACKARD DEVELOPMENT CO, IND TECH RES INST [TW], TELEPUTERS, LLC; INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION, SONY COMP ENTERTAINMENT INC [JP], AIRBUS FRANCE [FR], QUALCOMM INC [US], FRANCE TELECOM [FR], STRETCH INC [US], CISCO TECH INC [US], LEOPARD LOGIC INC [US], ITT MFG ENTERPRISES INC [US], STMICROELECTRONICS LIMITED, VERIZON LAB INC [US]; UNIV VERMONT [US].

Целью изобретения, представленного в патенте RU2427885 [31], является создание быстродействующего генератора случайных перестановок и сочетаний числовых последовательностей для управления перестановкой в информационном потоке для обеспечения его конфиденциальности. Поставленная задача решается тем, что быстродействующий генератор случайных перестановок и сочетаний битов данных содержит:

- блок регистров данных, выполненный с возможностью параллельной и последовательной загрузки q -разрядных двоичных чисел;
- коммутационную матрицу с топологией *baseline*.

Генератор имеет n q -разрядных выходов данных, образованных параллельными выходами блока регистров данных, m бинарных входов управляющих сигналов для подачи случайных импульсов от внешних источников, вход последовательной загрузки начальной строки переставляемых данных, образованный входом последовательной загрузки блока регистров данных, бинарный вход управления последовательной и параллельной записью данных в блок регистров данных, вход тактовых импульсов блока регистров данных. Параллельные q -разрядные выходы блока регистров данных электрически соединены с q -разрядными входами коммутационной матрицы, выходы которой электрически соединены с параллельными q -разрядными входами блока регистров данных. Эта матрица содержит n q -разрядных входов, n q -разрядных выходов и состоит из пере-

ключателей, расположенных в матричном порядке по $n/2$ линиям и $k = \log_2 n$ уровням. Каждый переключатель имеет два q -разрядных входа, два q -разрядных выхода и бинарный вход управляющего сигнала.

Техническим результатом изобретения [31] является высокоскоростное устройство, формирующее случайные сочетания и перестановки элементов входного множества 2^k чисел с равномерной функцией распределения.

В патенте RU2417402 [28] предлагается высокоскоростная кросс-кластерная коммутационная матрица, предназначенная для одновременного соединения каждого из входов любого входного кластера с одним выходом любого выходного кластера. Устройство относится к области кодирования информации и может быть использовано в вычислительной технике, системах коммуникации и защиты информации от несанкционированного доступа.

Задачами настоящего изобретения является ускорение выполнения кросс-кластерных перестановок за счет сокращения числа уровней, минимизация ограничений на возможные соединения между уровнями коммутационной матрицы и сокращение ее коммутационных элементов.

Поставленные задачи достигаются тем, что в выходной части предлагаемого устройства используется $k - u$ уровней преобразования, а во входной части – $k - 1$ уровень любой сети баньян-типа с минимальным количеством переключающих логических элементов (баньян переключателей 2×2), где $k = \log_2 n$, n – число входов и выходов матрицы, u – неотрицательное целое число, меньшее k .

Согласно предлагаемому решению кросс-кластерная коммутационная матрица (рис. 1) имеет $n = 2^k$ входов и выходов данных, разделенных по порядку номеров на 2^u кластеров, где $u < k$, входы управляющих кодов.

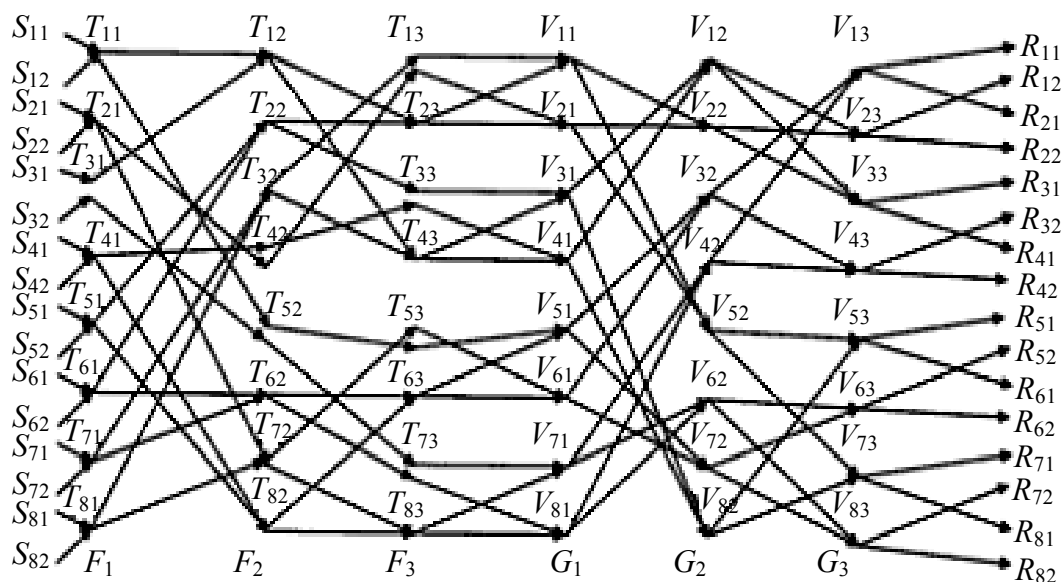


Рис. 1. Кросс-кластерная коммутационная матрица

Матрица состоит из входной и выходной частей, которые содержат переключатели, имеющие 2 входа, 2 выхода и вход управляющего кода. Переключатели расположены по уровням (столбцам) и линиям (строкам). Входы управляющих кодов кросс-кластерной коммутационной матрицы

образованы входами кодов переключателей, входы данных матрицы образованы входами переключателей первого уровня входной части матрицы, выходы данных матрицы образованы выходами переключателей последнего уровня, выходы переключателей предыдущего уровня соединены со входами переключателей следующего уровня.

Техническим результатом изобретения [28] является возможность высокоскоростной кросс-кластерной перестановки элементов данных или сигналов на входах с использованием управляющих кодов.

В патенте RU2239291 [24] заявлено устройство для управляемого преобразования двоичных данных. Изобретение относится к области электросвязи и вычислительной техники, а именно к техническим средствам криптографического преобразования двоичных данных, в частности, для защиты информации, передаваемой по телекоммуникационным сетям.

Целью изобретения является разработка устройства для управляемого преобразования двоичных данных, обладающего более низкой себестоимостью за счет достижения в нем возможности выполнения как прямого, так и обратного преобразования, т. е. совмещения в единой схеме устройства двух функций без существенного его усложнения, что, в свою очередь, упрощает построение устройств шифрования.

Поставленная цель достигается тем, что в известном устройстве для управляемого преобразования двоичных данных, которое содержит:

- $S \geq 2$ блоков управления перестановкой (БУП);
- $S-1$ блоков формирования перестановок (БФП) с n -разрядными ($n \geq 4$) информационными входом и выходом и m -разрядным ($m \geq 4$) управляющим входом, где n -разрядный информационный выход i -го БУП подключен к n -разрядному входу i -го БФП, n -разрядный выход которого подключен к n -разрядному информационному входу $i + 1$ -го БУП, причем каждый i -й БУП снабжен m_i -разрядным управляющим входом, а n -разрядные информационные вход первого и выход S -го БУП являются n -разрядными информационными соответственно входом и выходом устройства;
- дополнительно введены p блоков выбора типа преобразования (БВТП), где $p = S/2$ при S четном и $p = (S - 1)/2$ при S нечетном. Каждый j -й ($j = 1, 2, \dots, p$) БВТП снабжен первым и вторым m_j -разрядными управляющими входами, первым и вторым m_j -разрядными управляющими выходами и входом управления типом преобразования. Первый и второй m_j -разрядные управляющие выходы j -го БВТП подключены к m_j -разрядным управляющим входам соответственно j -го и $[(S + 1) - j]$ -го БУП. При S четном совокупность m_j -разрядных управляющих первых и вторых входов p БВТП являются m -разрядным управляющим входом устройства, т. е.

$$m = 2 \sum_{j=1}^p m_j.$$

При нечетном S эта совокупность включает в себя дополнительно m_{p+1} -разрядный управляющий вход $(p + 1)$ -го БУП, т. е.

$$m = \left(2 \sum_{j=1}^p m_j \right) + m_{p+1}.$$

Входы управления типом преобразования всех БВТП объединены и являются входом управления типом преобразования устройства. БУП с номерами i и $(S + 1 - i)$, так же как и БФП с номерами i и $(S - i)$, выполнены взаимно обратимыми. Причем при S четном $S/2$ -й БФП и при S нечетном $[(S+1)/2]$ -й БУП выполнены внутренне самообратимыми.

БУП состоит из $Z \geq 2$ управляемых элементов (УЭ). Каждый УЭ снабжен t -разрядными ($t = 2, 3$), информационными входом и выходом и w -разрядным ($w = 1, 2$) управляющим входом. Совокупности информационных входов, выходов и управляющих входов всех Z УЭ являются соответственно n -разрядными информационными входом, выходом и m_j -разрядным управляющим входом БУП.

БВТП состоит из m_j управляемых переключателей (УП). Каждый УП снабжен первым и вторым входами, первым и вторым выходами и входом управления коммутацией. Совокупность первых и вторых входов и первых и вторых выходов всех управляемых переключателей является соответственно первым и вторым m_j -разрядными управляющими входами и первым и вторым m_j -разрядными управляющими выходами БВТП. Входы управления коммутацией m_j управляемых переключателей объединены и являются входом управления типом преобразования БВТП.

Каждый УП состоит из первого, второго, третьего и четвертого элементов I , первого и второго элементов $ИЛИ$. Первые входы первого и второго элементов I объединены и являются первым входом УП, а первые входы третьего и четвертого элементов $ИЛИ$ объединены и являются вторым входом УП. Выходы первого, второго, третьего и четвертого элементов I подключены соответственно к первому, второму входам первого элемента $ИЛИ$, первому и второму входам второго элемента $ИЛИ$. Вторые входы первого, второго, третьего и четвертого элементов I объединены и являются входом управления коммутацией УП. Выходы первого и второго элементов $ИЛИ$ являются соответственно первым и вторым выходами УП. Первые входы второго и третьего УП выполнены инверсными.

Благодаря новой совокупности существенных признаков и за счет введения БВТП в заявленном устройстве реализуется возможность осуществления прямого и обратного преобразования с помощью одного и того же устройства, за счет чего с помощью одного устройства может быть реализовано как прямое, так и обратное криптографическое преобразование, что обеспечивает снижение себестоимости и сложности реализации устройств криптографического преобразования данных.

Техническим результатом изобретения [24] является обеспечение прямого и обратного преобразования n -разрядного двоичного вектора.

В патенте US2005149590 [4] запатентованы инструкции перестановок, которые могут быть использованы в программном обеспечении программируемого процессора для решения проблем перестановок в криптографии, устройств мультимедиа и др. Инструкции *PPERM* (*parallel permutation*) и *PPERM-3R* предназначены для выполнения перестановок. В инструкции *PPERM* биты в управляемом регистре назначения корректируются, а биты в фиксированном регистре установлены нулевыми. В инструкции *PPERM-3R* биты в управляемом регистре назначения являются обновляемыми, а биты в фиксированном регистре являются скопированными из промежуточных результатов предыдущих *PPERM-3R* инструкций. Обе инструкции *PPERM* и *PPERM-3R* могут индивидуально выполнять перестановки битов, сохраняющихся в более чем одном регистре. В альтернативном воплощении определена *GRP* (*group*) инструкция для выполнения перестановок, которая делит начальную последовательность в регистре источника на две группы, зависящие от контрольных битов. Первая группа комбинируется со второй, чтобы формировать промежуточную последовательность по отношению к желаемой конечной перестановке. Общее число *GRP*-инструкций для перестановки уровня битов из n -битов не больше $\log_2 n$. Инструкция *GRP* может быть использована для перестановки субслов из k -битов, упакованных в слово из n битов, где k может быть равно 1, 2 или n . Самое большее количество ($\log_2 n$) инструкций *GRP* используется для перестановки последовательности из $k \cdot r = n$ битов, где r – длина k -битового переставляемого субслова. Инструкция *GRP* также может быть использована для того, чтобы переставить $2n$ -битов, запасенных в двух n -битовых регистрах. Общее число инструкций для битовых перестановок из $2n$ -битов равно $2\log_2 n + 4$, и две из этих инструкций являются *SHIFT PAIR* инструкциями. Блок-схема системы выполнения инструкций перестановок в соответствии с воплощением настоящего изобретения представлена на рис. 2.

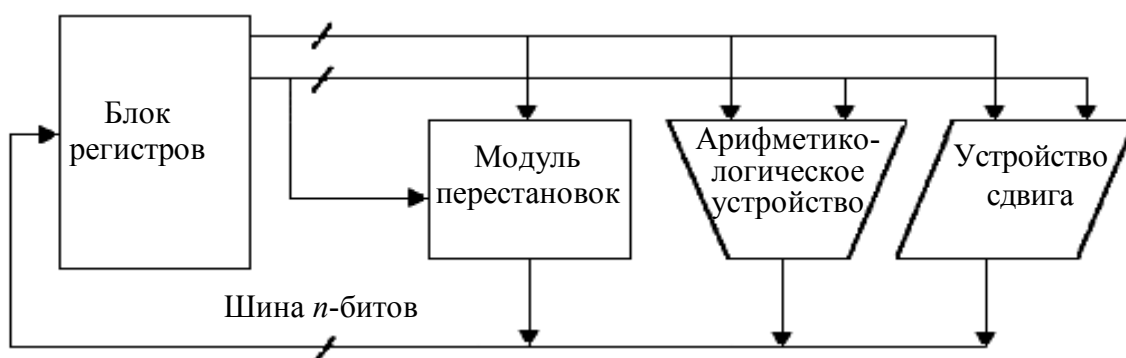


Рис. 2. Блок-схема системы выполнения инструкций перестановок в соответствии с изобретением [4]

Последовательность выполнения инструкций перестановок для достижения желаемой перестановки в соответствии с методом настоящего изобретения представлена на рис. 3. В блоке 23 происходит определение положения битов в источнике, в блоке 24 – определение инструкции пере-

становок, в блоке 25 – выполнение инструкции перестановок, в блоке 26 – условное повторение 23–25, желаемая перестановка определена в блоке 27.

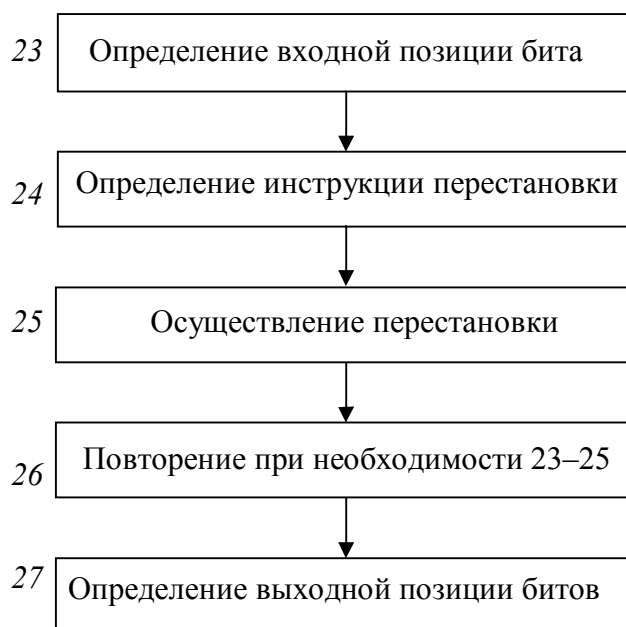


Рис. 3. Последовательность выполнения инструкций перестановок в соответствии с методом изобретения (обозначения в соответствии с [4])

Изобретение, представленное в патенте US2009138534 [1], относится к микропроцессорным устройствам, осуществляющим сдвиг и использующим коммутационную схему *butterfly* и обратную ей. Эти схемы могут выполнять инструкции параллельного извлечения и размещения битов машинного слова, операции группирования, смешивания и перестановок битов. Эти же схемы могут заменить существующие модули сдвига в микропроцессорах. При этом модули сдвига содержат меньшее количество элементов в схеме.

Результат настоящего изобретения [1] может использоваться в стеганографии, обработке морфологии бинарного изображения, кодировании передачи данных, биоинформатике и целочисленной технике сжатия информации.

В патенте TW200950351 [7] представлено изобретение, в котором используется схема *butterfly* для прямых и обратных перестановок в кодируемых каналах. Предлагаемое устройство представлено на рис. 4.

Базовая структура схемы (100) содержит входную (101) и выходную (102) части, каждая из которых имеет 4 терминала (103), два столбца (105, 106) узлов (104), локализованных между входной и выходной частями. Первый столбец (105) соединяется с входной частью (101), второй (106) – с выходной частью (102). Для выполнения операции переключе-

чения одновременно управляют узлами, которые выделены как переключатели. В настоящем изобретении также запатентован алгоритм управления данной схемой.

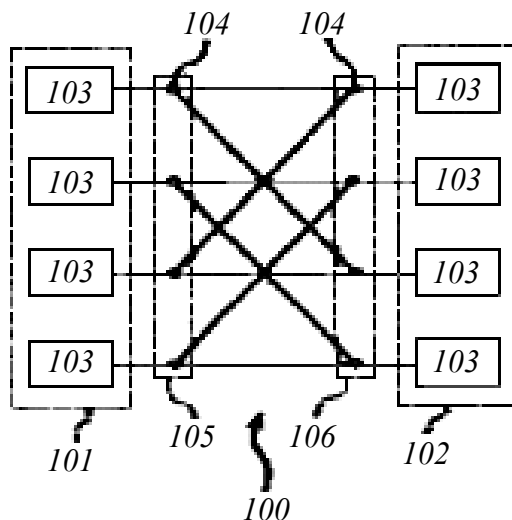


Рис. 4. Схема изобретения, выполненная с использованием *butterfly*-схемы (обозначения даны в соответствии с [7])

В патенте US6952478 [12] предложено устройство, выполняющее инструкции перестановок данных, которые могут быть использованы в программном обеспечении программируемого процессора для решения задач перестановок в криптографии, мультимедийных и других приложениях. Инструкции перестановок основаны на *omega-flip* сетях, включающих, по крайней мере, два блока, в которых используется *omega* или *flip* сеть. Первый блок формирует промежуточную последовательность, которая используется как входная для следующего блока. Инструкции перестановок повторяются до тех пор, пока не будет получена желаемая последовательность.

В изобретении, представленном в патенте US7092526 [11], разработаны метод и система для $2D$ мультимедийных программ, основанные на разложении изображения на простейшие элементы и определении желаемых для этих элементов перестановок. Простейший элемент может представлять собой матрицу 2×2 . Каждый из элементов матрицы может представлять субслово из одного или более битов. Перестановки элементов обеспечивают вертикальные, горизонтальные, диагональные, вращательные и другие перегруппировки.

Блок-схема системы для реализации инструкций перестановок в соответствии с настоящим изобретением аналогична представленной на рис. 2.

Блок-схема метода перестановки субслов изображена на рис. 5.

Одношаговые инструкции, разработанные в данном изобретении, могут быть использованы для создания любого типа перестановок, необходимых для двумерных ($2D$) мультимедийных обработок.



Рис. 5. Блок-схема метода перестановки субслов для использования в параллельной обработке (обозначения даны в соответствии с [11])

В патенте US7237055 [18] предложены система, устройство и метод для разбиения данных с использованием минимального количества переключателей и соединений между логическими элементами.

В одном из вариантов устройства схема разбиения вычислительных элементов с перестраиваемой конфигурацией сформирована на полупроводниковом основании. Она содержит множество входных и выходных терминалов и включает многоступенчатую сеть соединений переключателей с перестраиваемой конфигурацией для формирования пути данных из любого входного терминала в любой выходной терминал.

Патент US6934388 [21] предлагает метода и устройство для формирования случайных перестановок. Устройство, предназначенное для формирования блоков случайно переставленных элементов мультибитовых данных, включает входной регистр, создающий блок повторения различных элементов входных данных, из которых формируются выходные блоки переставленных элементов данных в соответствии с сохраняемыми случайными данными в памяти случайных кодов. Элементы выходных данных передаются в выходной регистр.

Изобретение, представленное в патенте RU2488161 [34], относится к средствам перестановок и сдвигов битов данных в микропроцессорах. Технический результат заключается в увеличении скорости выполнения операций. Устройство включает:

- многоуровневую коммутационную сеть *baseline* или *ibaseline*;
- блок формирования битов маскирования и управления;
- n -разрядные мультиплексоры входных и выходных данных;
- n -разрядные блоки маскирования данных на входе и выходе;
- m -разрядный мультиплексор битов управления;
- n -разрядные входной и выходной соединители.

В выбранных патентах были рассмотрены:

- устройства манипуляций с битами данных, в которых используются инструкции перестановок, основанные на *butterfly* и обратной *butterfly* сетях, а также на *omega-flip* сетях;

- методы для формирования случайных перестановок;
- методы и система, которые обеспечивают комплект программ перестановок для текущих и будущих 2D мультимедийных программ;
- высокоскоростная кросс-кластерная коммутационная матрица, используемая для кодирования информации;
- быстродействующий генератор случайных перестановок и сочетаний числовых последовательностей для управления перестановкой в информационном потоке с целью обеспечения его конфиденциальности.

Анализ патентной документации показал актуальность и новизну исследований проблемы высокоскоростного выполнения перестановок данных. Вопросами разработки методов и аппаратурных средств для выполнения операций формирования изоморфных представлений и преобразований форматов данных в вычислительной технике в период с 2002 по 2017 гг. интенсивно занимаются ученые России, США, Японии, Франции, Тайваня.

Основные направления исследований состоят в поиске путей создания унифицированных устройств, имеющих простое аппаратурное исполнение в сочетании с универсальностью и высокой скоростью выполнения процедур преобразования форматов данных.

Наиболее перспективным направлением создания унифицированных универсальных устройств преобразования форматов данных является развитие теории и практическое применение формирователей упорядоченных разбиений данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. US2009138534 (A1) США, МПК G06F17/10, GG06F5/01. Microprocessor shifter circuits utilizing butterfly and inverse butterfly routing circuits, and control circuits therefor / заявители Lee Ruby B [US], Hilewitz Yedidya [US] ; патентообладатель UNIV PRINCETON. – № US20080126616 ; заявл. 23.05.2008 ; опубл. 28.05.2009.

2. Пат. US2010281273 (A1) США, МПК G06F12/14, G06F 21/22. System and method for processor-based security / заявители Lee Ruby B [US], Champagne David [US] ; патентообладатели Lee Ruby B, Champagne David, TELEPUTERS, LLC. – № 20100689674 ; заявл. 19.01.2010 ; опубл. 04.11.2010.

3. Пат. US2010180083 (A1) США, МПК G06F12/00, G06F12/08. Cache memory having enhanced performance and security features / заявители Lee Ruby B [US], Wang Zhenghong [US] ; патентообладатели Lee Ruby B, Wang Zhenghong, TELEPUTERS, LLC. – № US20090633500 ; заявл. 08.12.2009 ; опубл. 15.07.2010.

4. Пат. US2005149590 (A1) США, МПК G06F7/76, G06F9/30, G06F9/308, (IPC1-7) : G06F15/00. Method and system for performing permutations with bit permutation instructions / заявители Lee Ruby B [US], Shi Zhijie [US] ; патентообладатели Lee Ruby B, Shi Zhijie, TELEPUTERS, LLC. – № US20050058819 ; заявл. 16.02.2005 ; опубл. 07.07.2005.

5. Пат. JP2004303204 (A) Япония, МПК G06F9/305, G06F9/315, G06F9/44, (IPC1-7) : G06F9/305, G06F9/315. Parallel subword instruction for sending result to subword position selected by result register of data processor / заявитель Lee Ruby B [US] ; патентообладатель HEWLETT PACKARD DEVELOPMENT CO. – № JP20040043850 ; заявл. 20.02.2004 ; опубл. 28.10.2004.

6. Пат. JP004303203 (A) Япония, МПК G06F9/315, G06F9/44, G06T1/20, (IPC1-7) : G06F9/315, G06T1/20. Variable reordering (mux) instruction for performing parallel table lookup from register / заявители Lee Ruby B, Morris Dale ; патентообладатель HEWLETT PACKARD DEVELOPMENT CO. – № JP20040043849 ; заявл. 20.02.2004 ; опубл. 28.10.2004.

7. Пат. TW200950351 (A) Тайвань, МПК H03M13/29, H04L12/28. Butterfly network for permutation or de-permutation utilized by channel algorithm / заявители Zheng Yan-Xiu [TW], Wong Cheng-Chi [TW], Tang Cheng-Hao [TW], Lin Chien-Ching [TW], Chang Hsie-Chia [TW], Lee Chen-yi [TW], Su Yu-The [TW] ; патентообладатель IND TECH RES INST [TW]. – № TW20090125946 ; заявл. 27.04.2007 ; опубл. 01.12.2009.

8. Пат. WO0189131 (A3) PCT, МПК G06F7/24, G06F7/76, G06F9/30, G06F9/315, G09C1/00, H04L29/06, (IPC1-7) : H04L. A method and system for performing permutations using permutation instructions based on modified omega and flip stages / заявители Lee Ruby B [US], Yang Xiao ; патентообладатель Lee Ruby B [US]. – № WO2001US14535 ; заявл. 07.05.2001 ; опубл. 13.06.2002.

9. Пат. US2004193847 (A1) США, МПК G06F9/00, G06F9/30, G06F9/302, (IPC1-7) : G06F9/00. Intra-register subword-add instructions / заявители Lee Ruby B [US], Morris Dale [US] ; патентообладатели Lee Ruby B, Morris Dale. – № US20030403863 ; заявл. 31.03.2003 ; опубл. 30.09.2004.

10. Пат. WO0189098 (A3) PCT, МПК G06F7/76, G06F9/30, G06F9/308, (IPC1-7) : H04B. A method and system for performing permutations with bit permutation instructions / заявители Lee Ruby B [US], Shi Zhijie [US] ; патентообладатель Lee Ruby B [US]. – № WO2001US14628 20010507 ; заявл. 07.05.2001 ; опубл. 13.06.2002.

11. Пат. US7092526 (B2) США, МПК G06F7/76, G06F9/30, (IPC1-7) : G06T15/40. Method and system for performing subword permutation instructions for use in two-dimensional multimedia processing / заявитель Lee Ruby B [US] ; патентообладатели Lee Ruby B, TELEPUTERS, LLC. – № US20010850380 ; заявл. 07.05.2001 ; опубл. 15.08.2006.

12. Пат. US6952478 (B2) США, МПК G06F7/76, G06F9/30, G06F9/308, H04L29/06, (IPC1-7) : G06F7/00. Method and system for performing permutations using permutation instructions based on modified omega and flip stages / заявители Lee Ruby B [US], Yang Xiao [US] ; патентообладатели Lee Ruby B [US], Yang Xiao [US], TELEPUTERS, LLC. – № US20010850238 ; заявл. 05.07.2001 ; опубл. 04.10.2005.

13. Пат. US2009157913 (A1) (US7689734) США, МПК G06F13/28. Method for toggling non-adjacent channel identifiers during dma double buffering operations / заявитель Bellows Gregory H [US] ; патентообладатель INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION. – № US20070958642 ; заявл. 18.12.2007 ; опубл. 18.06.2009.

14. Пат. US2005238052 (A1) США (US7505457 (B2)), МПК H04L12/56, (IPC1-7) : H04L12/56. Method and apparatus for providing an interconnection network function / заявитель Yamazaki Takeshi [JP] ; патентообладатель SONY COMP ENTERTAINMENT INC [JP]. – № US20050108971 ; заявл. 19.04.2005 ; опубл. 27.10.2005.

15. Пат. US2005241852 (A1) (US7473851 (B2)) США, МПК H01R29/00, H05K1/00, H05K3/42, (IPC1-7) : H01R12/04, H01R29/00, H05K1/11. Cross-connecting by permutations using configurable printed circuits / заявители Dunand Michel [FR], Carrillo Jean-jacques [FR] ; патентообладатель AIRBUS FRANCE [FR]. – № US20050118410 ; заявл. 02.05.2005 ; опубл. 03.11.2005.

16. Пат. US7428305 (B1) США, МПК G09C1/00, H04K1/00, H04L9/28, H04L9/32. Generation of keyed integer permutations for message authentication codes / заявители Hawkes Philip [AU], Rose Gregory G [AU], Quick Jr Roy Franklin [US] ; патентообладатель QUALCOMM INC [US]. – № US20000563648 ; заявл. 02.05.2000 ; опубл. 23.09.2008.

17. Пат. US2004146162 (A1) (US7352860 (B2)) США, МПК H04L9/00, H04L9/06, (IPC1-7) : H04L9/00. Method of encipherment by permutations of fixed-length sequences / заявители Gilbert Henri [FR], Macario-Rat Gilles [FR], Mouton Dimitri [FR] ; патентообладатель FRANCE TELECOM [FR]. – № US20030736752 ; заявл. 16.12.2003 ; опубл. 29.07.2004.

18. Пат. US7237055 (B1) США, МПК G06F13/00, G06F9/00. System, apparatus and method for data path routing configurable to perform dynamic bit permutations / заявитель Rupp Charle R [US] ; патентообладатель STRETCH INC [US]. – № US20040931491 ; заявл. 31.08.2004 ; опубл. 26.06.2007.

19. Пат. US7113506 (B1) США, МПК H04L12/28, H04L12/56, H04Q11/00. Butterfly network with switches set for two node disjoint paths and method for forming the paths / заявитель Cao Feng [US] ; патентообладатель CISCO TECH INC [US]. – № US20030639029 ; заявл. 12.08.2003 ; опубл. 26.09.2006.

20. Пат. US2004150422 (A1) (US6940308 (B2)) США, МПК H03K19/177, (IPC1-7) : H03K19/177. Butterfly network with switches set for two node disjoint paths and method for forming the paths interconnection network for a field programmable gate array / заявитель Wong Dale [US] ; патентообладатель LEOPARD LOGIC INC [US]. – № US20040764216 ; заявл. 23.01.2004 ; опубл. 05.08.2004.

21. Пат. US6934388 (B1) США, МПК G06F1/02, G06F7/76, H04B1/713, H04K1/00, H04K1/04, H04K1/06, H04L9/00, G06F7/58, (IPC1-7) : G06F1/02, H04K1/00, H04K1/04, H04K1/06, H04L9/00. Method and apparatus for generating random permutations / заявитель Clark James Monroe [US] ; патентообладатель ITT MFG ENTERPRISES INC [US]. – № US20000711169 ; заявл. 13.11.2000 ; опубл. 23.08.2005.

22. Пат. US6456838 (B1) США, МПК H04Q3/68, (IPC1-7) : H04Q7/20. Generic approach to generating permutations for all-to-all personalized exchange for self-routing multistage interconnection networks / заявители Wang Jianchao [US], Yang YuanYuan [US] ; патентообладатели VERIZON LAB INC [US], UNIV VERMONT [US]. – № US19990251676 ; заявл. 17.02.1999 ; опубл. 24.09.2002.

23. Пат. US2010228939 (A1) США, МПК G06F12/00. Parallel Read Functional Unit for Microprocessors / заявители Lee Ruby B [US], Chen Yu-Yuan [US] ; патентообладатели TELEPUTERS, LLC ; Lee Ruby B ; Chen Yu-Yuan. – № US20100690040 ; заявл. 19.01.2010 ; опубл. 09.09.2010.

24. Пат. US2239291 (C1) Россия, МПК⁷ H04L9/00, H03M7/00, G09C1/00. Устройство для управляемого преобразования двоичных данных / заявители Молдовян Н. А., Молдовян У. А., Морозова Е. В. ; патентообладатель Молдовян Н. А. – № US2003111099/09 ; заявл. 17.04.2003 ; опубл. 27.10.2004.

25. Пат. RU2241314 (C2) Россия, МПК 7 H04L9/08, H04K1/06. Управляемый операционный блок / заявители Молдовян А. А., Молдовян Н. А. ; патентообладатели Гос. унитарное предприятие «Специализированный центр программных систем "СПЕКТР"», Молдовян А. А., Молдовян Н. А. – № RU2002127537/09 ; заявл. 14.10.2002 ; опубл. 27.11.2004.

26. Пат. RU2309549 (C2) Россия, МПК H04L9/18. Способ криптографического преобразования цифровых данных / заявители Молдовян А. А., Молдовян Н. А. ; патентообладатели Молдовян А. А., Молдовян Н. А. – № RU2005131730/09 ; заявл. 17.03.2003 ; опубл. 10.06.2006.

27. Пат. RU2239955 Россия, МПК⁷ H04L9/28. Криптографический преобразователь двоичных данных / заявители Молдовян Н. А., Молдовян Н. А., Морозова Е. В. ; патентообладатель Молдовян Н. А. – № RU2003113185/09 ; заявл. 05.05.2003 ; опубл. 10.11.2004.

28. Пат. RU2417402 Россия, МПК G06F7/00. Кросс-кластерная коммутационная матрица / заявитель Сотов Л. С. ; патентообладатель ГОУ ВПО «Сарат. гос. ун-т имени Н. Г. Чернышевского». – № 2 RU009133507/08 ; заявл. 07.09.2009 ; опубл. 27.04.2011.

29. Пат. RU2390052 Россия, МПК G06F7/76. Дешифратор управляемой перестановки информации, хранимой в персональной ЭВМ / заявители Молодченко Ж. А., Сотов Л. С., Харин В. Н. ; патентообладатель ГОУ ВПО «Сарат. гос. ун-т имени Н. Г. Чернышевского». – № RU2008132009/09 ; заявл. 06.08.2008 ; опубл. 20.05.2010.

30. Пат. RU2390049 (C1) Россия, МПК G06F7/00. Параллельный дешифратор управляемой транспозиции информации, хранимой в персональной ЭВМ / заявители Молодченко Ж. А., Сотов Л. С., Харин В. Н. ; патентообладатель ГОУ ВПО «Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского». – № RU2008139529/09 ; заявл. 07.10.2008 ; опубл. 20.05.2010.

31. Пат. RU2427885 (С1) Россия, МПК G06F7/58 (2006.01), G06F7/76. Быстродействующий генератор случайных перестановок и сочетаний / заявитель Сотов Л. С. ; патентообладатель ГОУ ВПО «Сарат. гос. ун-т имени Н. Г. Чернышевского». – № RU2010102098/08 ; заявл. 25.01.2010 ; опубл. 27.08.2011.

32. Пат. RU2409842 (С1) Россия, МПК G06F12/14 (2006.01), G06F17/20 (2006.01). Устройство кросс-кластерной управляемой перестановки информации, хранимой в персональной ЭВМ / заявители Сотов Л. С., Харин В. Н., Соболев С. С. ; патентообладатель ГОУ ВПО «Сарат. гос. ун-т имени Н. Г. Чернышевского». – № RU2009115317/08 ; заявл. 23.04.2009 ; опубл. 20.01.2011.

33. Пат. RU2419174 (С1) Россия, МПК G11C 19/00. Устройство управляемого циклического сдвига / заявители Сотов Л. С., Харин В. Н., Соболев С. С. ; патентообладатель ГОУ ВПО «Сарат. гос. ун-т имени Н. Г. Чернышевского». – № RU2009134344/08 ; заявл. 14.09.2009 ; опубл. 20.05.2011.

34. Пат. RU2488161 (С1) Россия, МПК G06F11/00. Устройство перестановок и сдвигов битов данных в микропроцессорах / заявитель Сотов Л. С. ; патентообладатель ФГБОУ ВПО «Сарат. гос. ун-т имени Н. Г. Чернышевского». – № RU2011145864/08 ; заявл. 14.11.2011 ; опубл. 20.07.2013.

35. Пат. US20140053039 (A1) США, МПК H03M 13/27. Time varying data permutation apparatus and methods / заявители Farhoodfar Arash [CA], Kschischang Frank R [CA], Smith Bendjamin P. [CA] ; патентообладатели CORTINA SYSTEMS INC., SANNYVALE, CA [US]. – № US14/066332 ; заявл. 29.11.2013 ; опубл. 20.02.2014.

36. Пат. US20150160923 (A1) США, МПК G06F 7/58. Random permutation generator and method for generating a random permutation sequence / заявитель Felicijan Tomaz [AT] ; патентообладатель INFINEON TECHNOLOGIES AG Neubibery [DE]. – № US14/097346 ; заявл. 05.12.2013 ; опубл. 11.06.2015.

37. Пат. US20170161069 (A1) США, МПК G06F 9/30. Microprocessor including permutation instructions / заявители Yokota Don [US], Palmer Douglas A. [US] ; патентообладатель KNUEDGE, INC [US]. – № US14/962649 ; заявл. 08.12.2015 ; опубл. 08.06.2017.

38. Пат. US20170090928 (A1) США, МПК G06F 15/82, G06F 9/30. Vector permutation circuit and vector processor / заявители Chen Yunbi [CN], Hu Kai [CN] ; патентообладатель HUAWEI TECHNOLOGIES CO LTD [CN]. – № US15/280388 ; заявл. 29.09.2016 ; опубл. 30. 03.2017.

УДК 50.41.00

СИСТЕМА ДЛЯ МОНИТОРИНГА МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОЙ СОТОВОЙ СВЯЗИ

В. А. Евлушина, Л. С. Сотов

Саратовский национальный исследовательский
государственный университет имени Н. Г. Чернышевского
Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83
E-mail: kof@info.sgu.ru

Представлены результаты исследования принципов построения и характеристик глобальной навигационной спутниковой системы контроля местоположения подвижных объектов с использованием комбинированной технологии передачи и обработки информации в условиях ограниченной сотовой связи.

Ключевые слова: глобальная навигационная спутниковая система, система сотовой связи, широта, долгота, контроль местоположения.

The Tracking System for Mobile Objects in the Circumstance of Limited Cellular Communication

V. A. Evlushina, L. S. Sotov

The principles of creation and characteristics of global navigation satellite system for tracking of mobile objects with use of a mixed technology of information processing in the circumstance of limited cellular communication are presented.

Key words: global navigation satellite system, cellular system, latitude, longitude, object tracking.

Системы навигации широко используются для контроля местоположения подвижных объектов. При этом на подвижном объекте размещается навигационный модуль, который передает геодезические координаты на модуль мониторинга и контроля. Для передачи информации могут использоваться сотовая, спутниковая или прямая радиосвязь. Большинство существующих недорогих устройств мониторинга представляют собой *GPS (Global Positioning System)* приемник и *GSM (Global System for Mobile Communications)* модуль сотовой связи, обеспечивающий передачу навигационной информации с использованием технологий *GPRS (General Packet Radio Service – «акетная радиосвязь общего пользования)* или *SMS (Short Message Service – служба коротких сообщений)*.

Специфика задач, в которых требуется определение координат подвижных объектов, и постоянно совершенствующаяся элементная база определяют интерес разработчиков к проблеме обеспечения мониторинга движущихся объектов [1]. Каждое из известных технических решений имеет свои преимущества и недостатки: сотовая связь может отсутствовать в используемом районе; спутниковая связь более дорогостоящая и требует сложного оборудования; прямая радиосвязь прекращается после выхода объекта из зоны контроля.

В настоящей статье предложен вариант технологии создания недорогой мобильной системы мониторинга подвижных объектов в реальном времени в условиях ограниченной сотовой связи.

Предлагаемое техническое решение позволяет осуществлять передачу информации по двум каналам – радиоканалу и каналу сотовой связи, что обеспечивает повышенную надежность и глобальность системы для контроля местоположения подвижных объектов.

Принципы функционирования системы

Предлагаемая система состоит из двух модулей – мобильного, устанавливаемого на подвижный объект, и базового (для приема и обработки информации), который также может перемещаться.

В предлагаемой системе были решены следующие задачи:

- обеспечение мониторинга подвижного объекта в отсутствие сотовой связи и при выходе объекта из зоны покрытия радиосвязи;
- низкая стоимость системы;
- небольшие габариты и вес;

- защищенность устройств системы от пыли и влаги;
- непрерывная работа без подзарядки не менее 100 часов;
- хорошая функциональность и простота управления.

Для решения этих задач передача долготы и широты расположения объекта осуществляется через радиоканал. При выходе объекта из зоны покрытия радиосвязи экстренная передача навигационных параметров реализуется через канал сотовой связи. В условиях ограниченной сотовой связи передача информации с использованием технологии *GPRS* не эффективна из-за больших издержек на установление связи, поэтому в предлагаемой системе информация передается с использованием *SMS*-сообщений, которые одновременно передаются на мобильный номер базового модуля и на электронный адрес *WEB (World Wide Web)* сервера мониторинга. При этом траектория движения объекта отображается с использованием интернет-технологии «Яндекс карты». Передаваемая подвижным объектом информация не теряется даже в случае отсутствия сотовой связи с базовым модулем.

Требования к низкой стоимости системы, небольшим ее габаритам и весу заставляют отказаться от использования передачи данных по каналу спутниковой связи.

Обеспечение длительной непрерывной работы без подзарядки мобильного модуля требует сокращения потребляемой мощности. Для этого предлагается ограничить максимальную мощность радиопередатчика до 100 мВт, так как наибольший поток информации о местоположении объекта осуществляется по радиоканалу. Интервал передачи данных 3–5 с. При выходе подвижного объекта из зоны покрытия радиосигнала или выключении базового устройства, модули на подвижном объекте автоматически переключаются в режим энергосбережения. Выход из этого режима производится при входе объекта в зону покрытия или при запросе передачи данных по сотовой связи. Для организации этой функции базовое устройство после включения периодически передает короткий сигнал на мобильное устройство, которое, приняв такой сигнал, выходит из режима энергосбережения на некоторое время. Если сигнал с базового устройства отсутствует продолжительное время, мобильный блок переходит в режим энергосбережения.

Активация передачи информации по каналу сотовой связи осуществляется по таймеру, входящему *SMS*-сообщению или по входящему звонку. Последний способ гарантирует наличие сотовой связи как на мобильном, так и на базовом модуле.

Конструкция системы

При проектировании системы были исследованы различные подходы к разработке модулей – на базе ПЛИС (программируемая логическая интегральная схема) и на базе дискретных модулей, включая микропроцессорный. На базе ПЛИС может быть создан специализированный микропроцессорный модуль и необходимые периферийные устройства [2, 3], а также модуль ускоренной обработки информации [4, 5]. Однако для организации спутниковой навигации и передачи данных по каналам сотовой связи необходимы дополнительные модули, которые не могут реализовываться

на ПЛИС. Кроме этого конструктивное решение на базе ПЛИС более дорогостоящее. Поэтому было принято решение проектировать систему на базе дискретных модулей.

Блок-схема предлагаемого мобильного устройства системы мониторинга представлена на рис. 1, где *GPS* – навигационный модуль, *RF* (*radio frequency*) – модуль передачи данных по радиоканалу, *GSM* – модуль сотовой связи, *MIC* – микропроцессорный модуль.

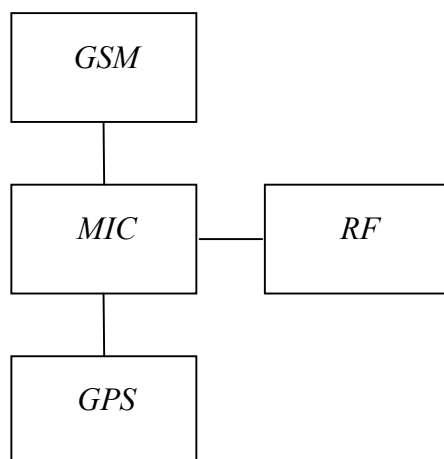


Рис. 1. Блок-схема мобильного модуля системы мониторинга

Блок-схема базового устройства системы мониторинга представлена на рис. 2. Оно дополнительно включает дисплейный модуль (*DSP*) и трех-осевой магнитный модуль (*GY*).

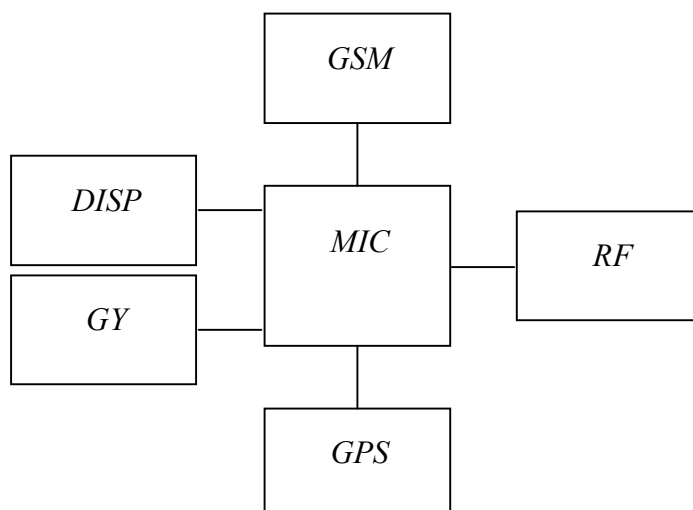


Рис. 2. Блок-схема базового модуля системы

Дисплейный модуль предназначен для отображения информации – координат подвижного объекта, расстояния и направления на объект, уровней сигналов радио- и сотовой связи, заряда аккумуляторов и т. п.

Магнитный модуль служит для определения ориентации базового модуля в пространстве. Этот модуль может быть выполнен на основе магниточувствительного генератора [6, 7] или магниторезистивной матрицы [8]. По-

сколькx допустимая погрешность определения ориентации базового модуля может составлять от 1 до 3°, было решено использовать трехосевой магнитный компас *GY-282* (см. рис. 2) на базе интегральной микросхемы *HMC5983*. Кроме этого, в системе дополнительно организована ориентация по движению с использованием информации о векторе скорости перемещения базового модуля, полученной от *GPS*-приемника.

Интегральная микросхема *SI4463*, работающая на одном из 100 каналов в диапазоне частот от 433,4 МГц до 473,0 МГц, предназначена для передачи данных по радиоканалу (см. рис. 2, модуль *RF*). Выходная мощность передатчика программируется от -1 дБм до 20 дБм. При необходимости увеличения выходной мощности может быть установлен дополнительный широкополосный усилитель [9, 10] на высокочастотных транзисторах [11, 12].

В качестве блока *GPS* (см. рис. 2) в системе мониторинга применен модуль *VK2828U7G5LF* на базе интегральной микросхемы *UBX-G7020-KT*, предназначенный для определения геодезических координат и дополнительной навигационной информации. Между модулями *GSM* и *MIC* информация передается в формате *IMEI* (*International Mobile Equipment Identity*).

Модуль сотовой связи *SIM800L* (см. рис. 2, *GSM*) построен на базе 4-диапазонного (*GSM850/GSM900/DCS1800/PCS1900*) приемопередатчика *RF7198* и чипа *Mediatek ARM MT6261*.

В качестве основного микропроцессора (см. рис. 2, модуль *MIC*) в системе используется микросхема *ATmega328P*.

Фотография платы макета базового модуля системы представлена на рис. 3.

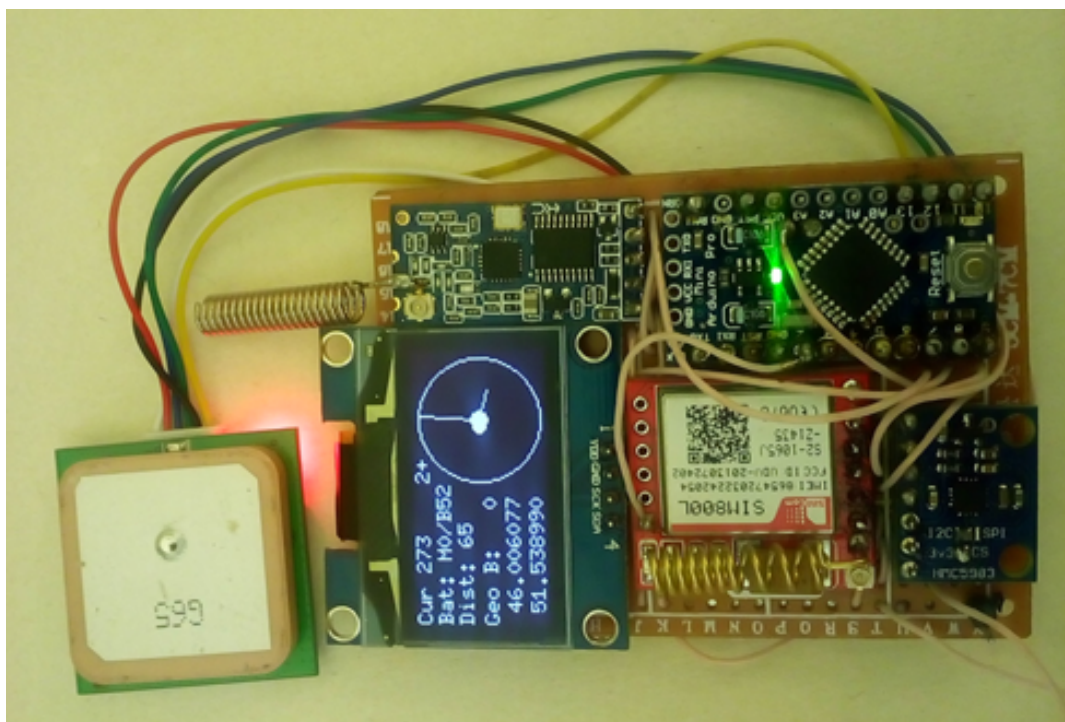


Рис. 3. Плата макета базового модуля системы мониторинга подвижных объектов

Макет базового модуля имеет небольшие размеры 50×70мм и вес около 70 г. На дисплее отображается значение курса (*Cur*) на подвижный объект, состояние заряда аккумуляторов мобильного (*M*) и базового (*B*) модулей в процентах, расстояние до объекта (*Dist*) в метрах, долгота и широта расположения подвижного объекта (*Geo*). Для удобства пользования положение объекта относительно магнитного меридиана в виде точки проецируется на ограниченную окружностью область экрана дисплея. При удалении объекта на расстояние более 600 м точка проецируется на окружность. Направление магнитного меридиана Земли определяется с использованием магниторезистивного трехосного датчика *HMC5983* и отображается в виде стрелки в окружности экрана дисплея.

С целью устранения ошибок определения направления на Север (длинная стрелка, расположенная в окружности), связанных с локальными искажениями магнитного поля Земли, на экран в виде короткой стрелки проецируется направление на Север по географическому меридиану, определенное модулем *GPS*. При ориентации оси базового модуля по его направлению его движения и учете величины магнитного склонения (поправка к магнитному курсу) направления длинной и короткой стрелок должны совпадать. Основные характеристики системы приведены в таблице.

**Технические характеристики системы контроля
местоположения подвижных объектов**

Наименование	Значение
Рабочая температура, °С	от -40 до 85
Напряжение питания, В	от 3,2 до 4,5
Ток, потребляемый мобильным модулем, мА	112
Ток, потребляемый мобильным модулем в режиме энергосбережения, мА	25
Ток, потребляемый базовым модулем, мА	80
Время работы мобильного модуля в активном режиме в активном и энергосберегающем режимах	не менее 60 более 100
Погрешность определения координат, м	не более 2,5
Погрешность определения скорости, м/с	не более 0,1
Погрешность определения направления движения, град.	не более 0,5
Выходная мощность передатчика, дБм (мВт)	+20 (100)
Дальность передачи данных на открытой местности, км	до 2
Чувствительность приемника радиоканала, дБм	-126
Скорости передачи данных по радиоканалу, бод	500
Диапазон рабочих частот, МГц	от 433,4 до 473,0
Вид модуляции радиоканала	<i>GFSK</i>
Девияция частоты, Гц	±250

* Частотная модуляция с фильтрацией Гаусса

Предлагаемая система мониторинга имеет низкую стоимость по сравнению с имеющимися аналогами. Стоимость входящих в систему модулей и элементов питания составляет около 2500 руб.

Временной интервал передачи навигационных данных по радиоканалу может меняться в пределах от 3 до 30 с, что обеспечивает мониторинг в реальном времени. При выходе из зоны покрытия радиосигнала информация передается через канал сотовой связи с интервалом 1 час или по запросу.

Предложенная система мониторинга подвижных объектов в реальном времени в условиях ограниченной сотовой связи предназначена для решения широкого класса практических задач. Показано, что комбинирование передачи навигационной информации по каналам радиочастотной и сотовой связи обеспечивает достаточно надежное определение координат подвижного объекта. Приведены основные характеристики предлагаемой системы, которая может функционировать не менее 60 часов в активном режиме без подзарядки при передаче информации каждые 3 секунды. При комбинировании активного режима и режима сохранения энергии непрерывная работа возможна на протяжении более 100 часов.

Более гибкая функциональность, глобальность покрытия, повышенный радиус действия и надежность в условиях ограниченной сотовой связи достигаются за счет применения специальных технических решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Khondker S. H., Mashiur R., Tanzil R., Mahbubur R.* Cost Effective GPS-GPRS Based Object Tracking System // Springer Lecture Notes in Engineering and Computer Science. 2009. Vol. 2174. № 1. P. 18–20.

2. *Назаров С. И., Ляшенко А. В., Сотов Л. С., Хвалин А. Л.* Проектирование микропроцессора с расширенным набором команд манипуляции битами данных на базе архитектуры OPENRISC1200 // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2014. Вып. 17 : Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Методические аспекты физического образования. Экономика в промышленности. С. 50–65.

3. *Назаров С. И., Сотов Л. С., Ляшенко А. В.* Процессор с улучшенной манипуляцией битами данных для средств навигации, обработки сигналов и изображений, криптографии, мобильных диагностических устройств // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2014. Вып. 16 : Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Методические аспекты физического образования. Экономика в промышленности. С. 51–63.

4. *Сотов Л. С., Ачкасов В. Н.* Универсальный модуль манипуляции битами данных в микропроцессорах // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2011. Вып. 11 : Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Прикладные аспекты. Экономика. Методические аспекты физического образования. С. 57–73.

5. *Ляшенко А. В., Сотов Л. С., Хвалин А. Л., Чесаков В. С.* Микропроцессор с ускоренной манипуляцией битами данных для обработки сигналов в системах связи // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2015. Вып. 18 : Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Методические аспекты физического образования. Экономика в промышленности. С. 72–81.

6. *Воронков О. В., Кабанов И. Н., Мещанов В. П., Сотов Л. С., Хвалин А. Л.* Векторный дифференциальный магнитометр на пленке ЖИГ с доменной структурой // Радиотехника. 2015. № 1. С. 97–102.

7. *Хвалин А. Л., Сотов Л. С., Овчинников С. В., Кобякин В. П.* Экспериментальные исследования гибридного интегрального магнитоуправляемого генератора // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2009. № 11. С. 42–44.

8. Романова И. В. Магнитные датчики компаний NXP, HONEYWELL и MURATA на российском рынке // Электроника : Наука, технология, бизнес. 2012. № 5 (119). С. 56–65.

9. Апин М. П., Балаболин А. Г., Хвалин А. Л., Сотов Л. С. Проектирование мощных широкополосных усилителей на отечественной элементной базе в диапазоне 1...2 ГГц // Радиотехника. 2016. № 7. С. 4–9.

10. Страхова Л. Л., Хвалин А. Л., Сотов Л. С. Мощные высокочастотные транзисторные усилители (анализ патентной документации) // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2016. Вып. 21 : Теоретические и экспериментальные исследования, компьютерные технологии. Методические аспекты физического образования. Экономика в промышленности. С. 72–87.

11. Игнатьев А. А., Страхова Л. Л., Кудрявцева С. П., Хвалин А. Л. Патентные исследования по разработке высокочастотных транзисторов, магнитотранзисторов и устройств на их основе // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2008. Вып. 3 : Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Прикладные аспекты. С. 85–104.

12. Чесаков В. С., Сотов Л. С. Моделирование широкополосного термостабилизированного усилительного модуля в диапазоне частот 1... 2 ГГц // Радиотехника. 2017. № 7. С. 122–124.

УДК 611–018.1:575.86

ПРОБЛЕМАТИКА ПРИМЕНЕНИЯ КВАНТОВО-МЕХАНИЧЕСКОГО ПОДХОДА И МЕТОДОВ ТЕОРИИ КОЛЕБАНИЙ К ОПИСАНИЮ КОМПЛЕКСОВ ИЗ МАГНИТОСОМ И ФИЛАМЕНТОВ ЦИТОСКЕЛЕТА

Б. А. Медведев, А. С. Дронкин, С. Ж. Жусубалиева

Саратовский национальный исследовательский
государственный университет имени Н. Г. Чернышевского
Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83
E-mail: bmedvedev@yandex.ru

Статья посвящена проблематике применения квантово-механического и классического подходов к описанию комплексов из магнитосом и филаментов цитоскелета. Отмечены достоинства и недостатки использования метода двухчастичной матрицы плотности. Приведена упрощенная модель комплекса как системы связанных осцилляторов, намечены дальнейшие шаги по улучшению этой модели.

Ключевые слова: магнитосома, цитоскелет нейрона, двухчастичная матрица плотности, система связанных осцилляторов.

Problem of Applying the Quantum-Mechanical Approach and Methods of Theory of Oscillations to the Description of Complexes of Magnetosomes and Cytoskeleton Filaments

B. A. Medvedev, A. S. Dronkin, S. Zh. Zhusubalieva

The article is devoted to the problematic questions of applying the quantum mechanical and classical approaches to the description of complexes of magnetosomes and filaments of the cytoskeleton. The advantages and disadvantages of using the 2-particle density matrix method are noted. A simplified model of the complex as a system of coupled oscillators is presented, and further steps are planned for its improvement.

Key words: magnetosome, cytoskeleton of neuron, 2-part density matrix, system of coupled oscillators.

В середине прошлого столетия стали появляться новые данные в области исследования биоминерализации в живых организмах. Биоминерализация – это совокупность биохимических процессов, в результате которых организмы синтезируют твердые минеральные включения. Наибольший интерес среди неорганических соединений, образующихся подобным образом, вызывает магнетит (Fe_3O_4). В конце 80-х годов была выпущена монография [1], где подробно описываются свойства биомангнетита, а также проводится подробный анализ его возможного участия в магнитотаксисе – ориентации живых организмах по внешнему магнитному полю. Обнаруженные наноструктуры были названы магнитосомами. Соединения биомангнетита были найдены у многих живых организмов, среди которых магниточувствительные бактерии, пчелы, рыбы (тунец). Предполагалось также их наличие и у других животных, включая приматов. И только в 1992 г. магнитосомы были экспериментально обнаружены в тканях головного мозга человека [2]. Оказалось, что они диффузно и достаточно равномерно распределяются по всем долям головного мозга – мозжечку, базальным ганглиям и среднему мозгу. Кристаллы магнетита имеют кубическую форму (обратная шпинель) [1]. В 2010 г. была высказана гипотеза [3], предполагающая участие магнитосом в формировании у человека различных нейродегенеративных заболеваний, в частности болезней Альцгеймера и Паркинсона. Считается, что патологические процессы могут возникать в результате отрыва магнитосом от цитоскелета и их последующего бесконтрольного дрейфа внутри клетки. Именно этим определяется актуальность исследования проблематики описания комплексов из магнитосом и белков цитоскелета.

Изучаемая модель комплексов.

Магнитосомы в ассоциации с филаментами цитоскелета нейрона

Считается, что внутри клетки магнитосомы находятся в ассоциации с филаментами цитоскелета. Опишем несколько подробнее компоненты такого комплекса. Магнитосомы – клеточные органоиды, размер которых лежит в диапазоне нескольких десятков нанометров. Они представляют собой магнитное ядро, состоящее из магнетита Fe_3O_4 или грейгита Fe_3S_4 и покрытое липидным бислоем. Схематичное изображение структуры магнитосомы представлено на рис. 1.

Магнитный момент магнитосомы превышает элементарный на 7–9 порядков. Концентрация подобных наночастиц в тканях мозга человека составляет приблизительно 5×10^6 кристаллов на грамм живого вещества, а в мозговой оболочке может быть более 10^8 кристаллов на грамм. Размер магнитосом у человека варьируется, в предельном случае достигая 200 нм, но основная часть (около 90%) наночастиц имеет размер от 10 до 70 нм [4].

Ткани головного мозга состоят, в частности, из нейронов. Учитывая размеры магнитосом и их расположение, мы можем предполагать, что они находятся в аксонах, диаметр которых достигает единиц микрометров. В

цитоскелете выделяют несколько основных систем элементов. Мы рассмотрим промежуточные филаменты, так как именно они отвечают за жесткое закрепление в клетке ядра и других органелл (рис. 2).

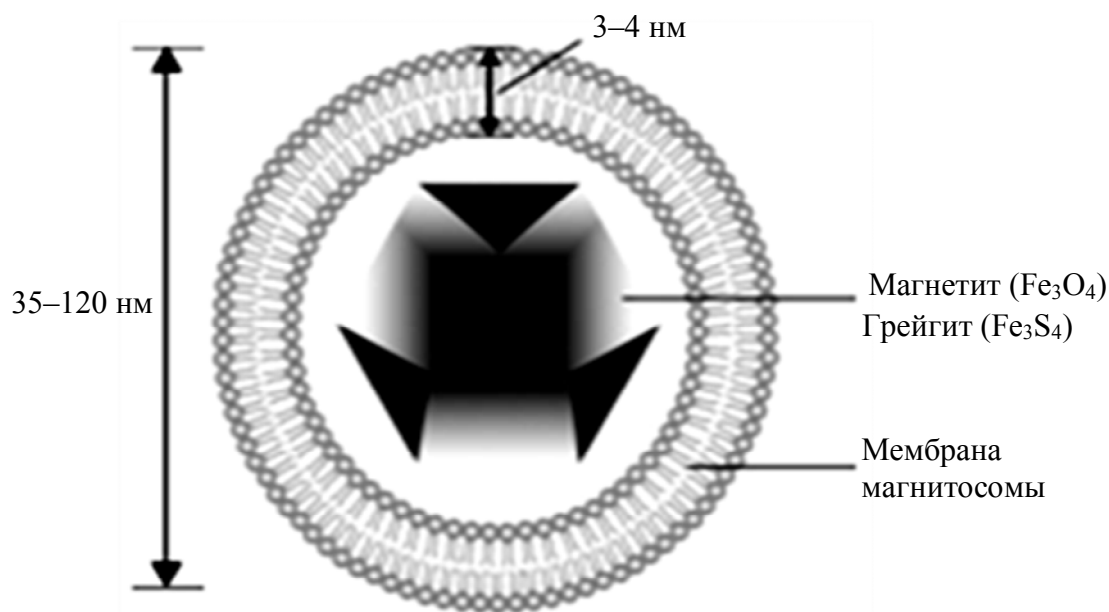


Рис. 1. Схематичное изображение структуры магнитосомы

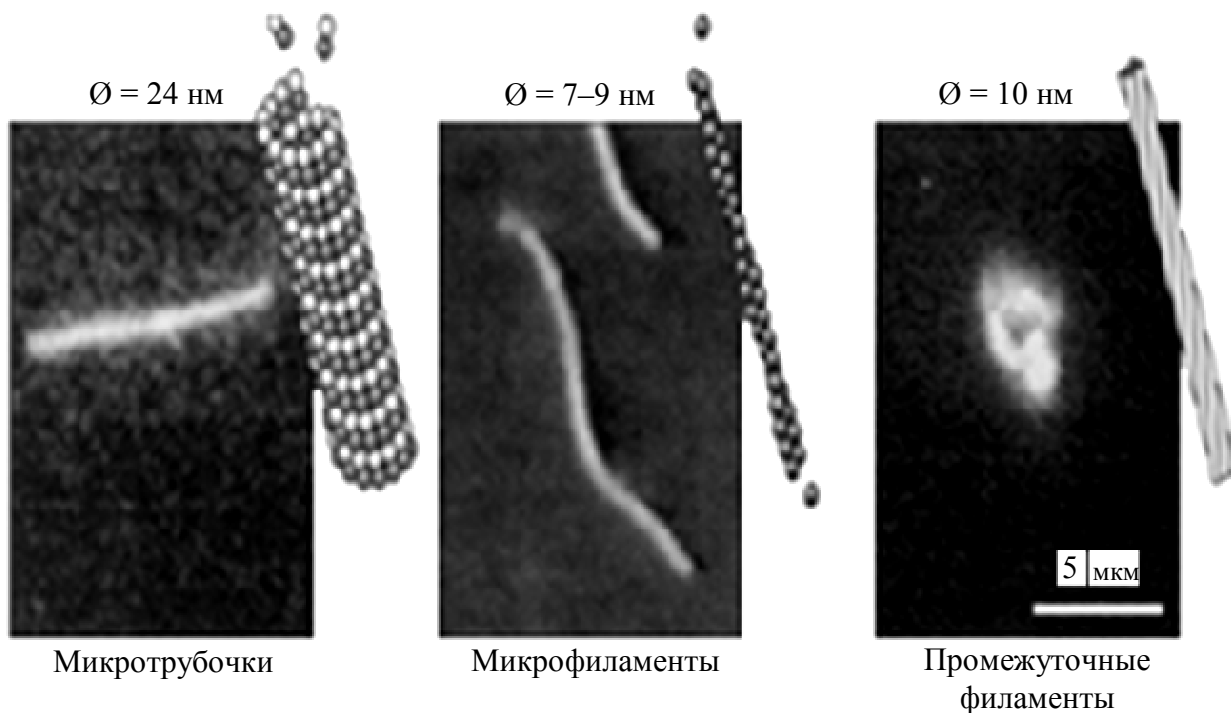


Рис. 2. Основные элементы цитоскелета нейрона

В нейроне промежуточные филаменты носят название нейрофиламентов. Они образуют довольно плотную сеть в аксоне (рис. 3, а), в которой могут «запутываться» магнитосомы. К такому выводу можно прийти, сравнивая линейные размеры магнитосом и ячеек сети нейрофиламентов. Схематично получаемая структура изображена на рис. 3, б.

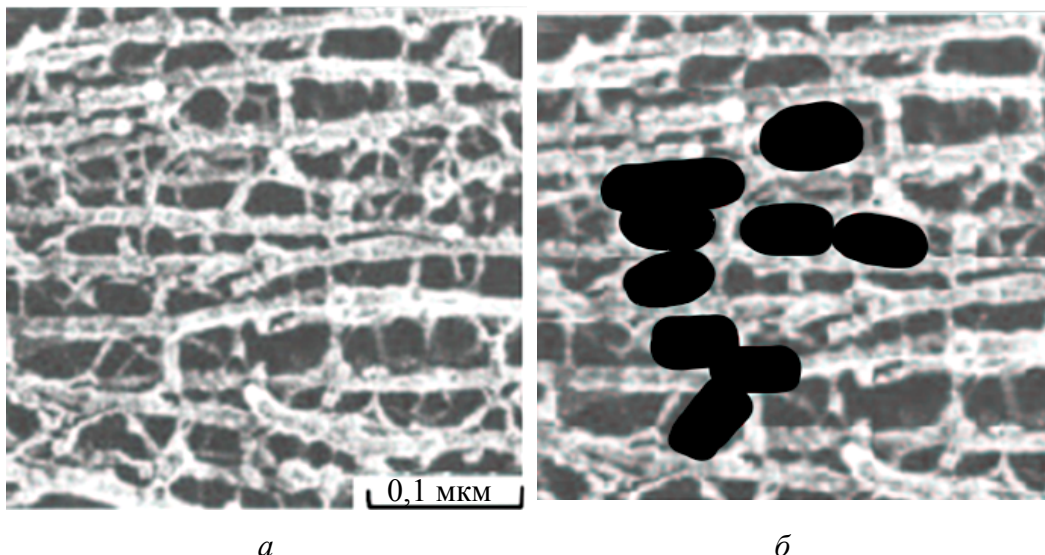


Рис. 3. Сеть нейрофиламенты в аксоне (а) и предполагаемое размещение магнитосом в сети нейрофиламентов (б)

Применения квантово-механического подхода и методов теории колебаний к описанию комплексов из магнитосом и филаментов цитоскелета и является целью нашего исследования. Рассматривая цитоскелет, можно предположить, что в некоторой локальной области сети нейрофиламентов образуется потенциальная яма. Находясь в ней магнитосома оказывается в состоянии устойчивого равновесия, однако сохраняет способность совершать колебательные движения. Такая модель может рассматриваться и при классическом описании комплекса. Однако если мы считаем магнитосому квазимолекулой, то правильнее обратиться к квантовым представлениям. В таком случае нужно записать для магнитосомы уравнение Шрёдингера, которое позволит рассчитать возможные энергетические состояния магнитосомы. Также это дает возможность проанализировать, как именно и при каких условиях возможен отрыв магнитосомы от цитоскелета или присоединение к нему.

Помимо этого представляется довольно вероятным и, возможно, более правильным рассмотрение липидов бислоя магнитосомы как лигандов белкового взаимодействия с белками нейрофиламентов. В таком случае мономеры встраиваются в оболочку магнитосомы, попадая в своеобразные «кармашки».

Квантово-механический подход

Поскольку исследуемая нами система состоит в первом приближении из двух подсистем, логично использовать для ее описания метод двухчастичной матрицы плотности.

Квантово-механический подход обычно используют для описания смешанных квантово-механических систем. Ранее [5, 6, 7] он применялся для описания комплексов из 2 молекул, одна из которых играет роль плазмона, а вторая абсорбирована на поверхности металла. Разумеется, наш

комплекс более сложный. Данный подход может быть применим к нему только в том случае, если рассматривать связь магнитосомы с отдельным мономером белка нейрофиламентов и считать магнитосому и мономер квазимолекулами. Такое упрощение может оспариваться в связи с тем, что в предельном случае магнитосомы могут иметь линейные размеры порядка двух сотен нанометров. Однако это же утверждение верно и для крупных белковых молекул. Поэтому будем считать введенное предположение допустимым.

Каждой молекуле (квазимолекуле) в соответствие ставится матрица плотности, которая в полной мере дает ее описание. В частности, диагональные матричные элементы определяют населенность молекул в конкретном энергетическом состоянии, а недиагональные – позволяют определить вероятности как линейных, так и нелинейных оптических процессов между энергетическими уровнями. Двухчастичная матрица плотности ρ_{12} характеризует комплекс в целом. Ее удобно представлять следующим образом:

$$\rho_{12} = \rho_1 \rho_2 + g_{12}, \quad (1)$$

где ρ_1 и ρ_2 – матрицы плотности 1-й и 2-й молекул; g_{12} – матрица плотности корреляций, которая вводится для описания резонансных или квазирезонансных взаимодействий между компонентами комплекса. В некоторых случаях последнее слагаемое можно опустить полностью или частично.

Далее необходимо воспользоваться кинетическим уравнением для двухчастичной матрицы плотности, в общем виде выведенным Н. Н. Боголюбовым:

$$\dot{\rho}_{12} + \Gamma_{12} \rho_{12} = -\frac{i}{\hbar} [H, \rho_{12}], \quad (2)$$

где Γ_{12} – релаксационный оператор комплекса; i – мнимая единица; \hbar – постоянная Планка; H – гамильтониан комплекса. Для димера он имеет следующий вид:

$$H = H_{01} + H_{02} + V_1 + V_2 + F_{12}, \quad (3)$$

где H_{01} и H_{02} – собственные гамильтонианы молекул; V_1 и V_2 – операторы возмущения, дающие описание взаимодействия компонент комплекса с неким внешним воздействием; а F_{12} – оператор, описывающий взаимодействие компонент. Для случая взаимодействия димера с внешним электромагнитным полем с напряженностью \mathbf{E} в дипольном приближении можно записать:

$$V_i = -\mathbf{d}_i \mathbf{E}, \quad (4)$$

$$\mathbf{E} = \sum_j \mathbf{E}_j \exp(i\omega_j t) + \text{к.с.}, \quad (5)$$

где \mathbf{d}_i – оператор дипольного момента i -ой молекулы; ω_j – частота внешнего поля с напряженностью E_j .

Считая взаимодействие между компонентами в комплексе диполь-дипольным, получим:

$$F_{12} = \mathbf{d}_1(\mathbf{d}_2 - 3\mathbf{n}(\mathbf{d}_2\mathbf{n}))/r^3, \quad (6)$$

где \mathbf{n} – единичный вектор вдоль прямой, соединяющей молекулы, а r – расстояние между ними.

Произведем непосредственный вывод кинетических уравнений для элементов двухчастичной матрицы плотности. Для начала перейдем к системе уравнений для одночастичных матриц плотности:

$$\dot{\rho}_1 + \Gamma_1\rho_1 = -\frac{i}{\hbar}[H_{01} + V_1, \rho_1] - \frac{i}{\hbar}Sp_2[F_{12}, \rho_{12}], \quad (7)$$

$$\dot{\rho}_2 + \Gamma_2\rho_2 = -\frac{i}{\hbar}[H_{02} + V_2, \rho_2] - \frac{i}{\hbar}Sp_1[F_{12}, \rho_{12}], \quad (8)$$

где при выводе предполагалось, что $\Gamma = \Gamma_1 + \Gamma_2$; Sp_1, Sp_2 – операция суммирования диагональных элементов матрицы.

Как видим, в (7) и (8) наглядно демонстрируется взаимосвязь между элементами первой и второй матриц. Произведение $\Gamma_1\rho_1$ можно представить:

–при $m \neq n$

$$(\Gamma_1\rho_1)_{nm} = T_{nm}^{-1}\rho_{nm}, \quad (9)$$

–при $m = n$

$$(\Gamma_1\rho_1)_{nm} = \sum_k (W_{mk}\rho_{mm} - W_{km}\rho_{kk}), \quad (10)$$

где m, n, k – номера энергитических уровней; T_{nm} – время релаксации недиагональных элементов двухчастичной матрицы плотности; W_{mk} – скорость релаксации диагональных элементов двухчастичной матрицы плотности. Аналогично (9) и (10) могут быть записаны условия и для одночастичной матрицы плотности второй молекулы.

Перейдем к представлению взаимодействия с помощью оператора:

$$\hat{U}_0 = \exp\left(-\frac{i}{\hbar}\{H_{01} + H_{02}\}t\right), \quad (11)$$

$$V_{nm} = -\sum_j d_{nm}E_j \exp(i\omega_j t) + \text{к.с.}, \quad (12)$$

где V_{nm} – матричный элемент оператора взаимодействия; d_{nm} – матричный элемент дипольного момента перехода $n \rightarrow m$.

Тогда можно ввести замену:

$$\sigma_{nm} = (U_0^+ \rho U_0)_{nm} = \rho_{nm} \exp(i\omega_{mn}t), \quad (13)$$

где σ_{mn} – матричный элемент амплитуды матрицы плотности; U_0^+ – эрмитов оператор; $\omega_{mn} = (E_m - E_n)/\hbar$. Подставляя формулы (9)–(13) в (7) и (8), можно получить уравнения для элементов матрицы плотности каждой из двух молекул. В частности для первой молекулы:

$$\begin{aligned} \left(\frac{d}{dt} + T_{nm}^{-1} + i\omega_{nm}\right)\sigma_{nm} &= \frac{i}{\hbar}\alpha \sum_k \{d^{nk} E\sigma^{km} - d^{km} E\sigma^{nk}\} - \\ &- \frac{i}{\hbar} \sum_{k,p,q} \{d^{nk} d_{pq} \sigma_{qp}^{km} - d^{km} d_{qp} \sigma_{pq}^{nk}\}, \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}\sigma^{nm} + \sum_k (W_{nk} \sigma^{nn} - W_{kn} \sigma^{kk}) &= \frac{i}{\hbar} \sum_k \{d^{nk} E\sigma^{kn} - d^{kn} E\sigma^{nk}\} - \\ &- \frac{i}{\hbar} \alpha \sum_{k,p,q} \{d^{nk} d_{pq} \sigma_{qp}^{kn} - d^{kn} d_{qp} \sigma_{pq}^{nk}\}, \end{aligned} \quad (15)$$

где $\alpha \approx \frac{1}{r^3}$ для случая, когда пренебрегается ориентациями диполей.

Здесь и далее верхние индексы относятся к первой молекуле, а нижние – ко второй.

Решение уравнений (14) и (15) ищется в виде:

$$\sigma_{nm} = R_{nm} \exp(i\omega_j t), \quad \omega_j \approx \omega_{nm}, \quad (16)$$

$$\sigma_{nn} = R_{nn}, \quad (17)$$

считая, что можно использовать приближение медленно меняющихся амплитуд. Запишем выражение для элементов корреляционной матрицы:

$$G_{pq}^{nm} = R_{pq}^{nm} - R^{nm} R_{pq}, \quad (18)$$

где верхние индексы m, n – номера энергетических уровней первой молекулы, а нижние индексы p, q – второй молекулы.

Подставим (16) и (17) в (14) и (15) с учетом (18). Будем считать, что квазирезонансная передача энергии возможна только между теми парами уровней системы, для которых выражение $|\omega_{nm} + \omega_{pq}|$ мало, а остальными элементами корреляционной матрицы можно пренебречь. Тогда уравнение для R_{pq}^{nm} примет вид:

$$\begin{aligned} \left[\frac{d}{dt} + i(\omega_{nm} + \omega_{pq}) + (T_{nm}^{-1} + T_{pq}^{-1})\right] \cdot R_{pq}^{nm} &= \frac{i}{\hbar} d^{nm} E R_{pq} (R^{mm} - R^{nn}) + \\ &+ \frac{i}{\hbar} d_{pq} E^* R^{nm} (R_{qq} - R_{pp}) + \frac{i}{\hbar} \alpha R_{pq}^{nm} (d^{nn} d_{pp} - d^{mm} d_{qq}) + \\ &+ \frac{i}{\hbar} \alpha d^{nm} d_{pq} (R^{mm} R_{qq} - R^{nn} R_{pp}). \end{aligned} \quad (19)$$

Анализ и решение уравнения (19) позволяет исследовать такие явления как гигантское комбинационное рассеивание (ГКР) двухфотонной люминесценции, усиление генерации 2-й гармоники [5, 6, 7]. Явление возникновения полосы поглощения в спектре излучения донора при сильных взаимодействиях между донором и акцептором иллюстрируется на рис. 4. Возникновение этого эффекта служит критерием того, что комплекс находится в стабильном состоянии.

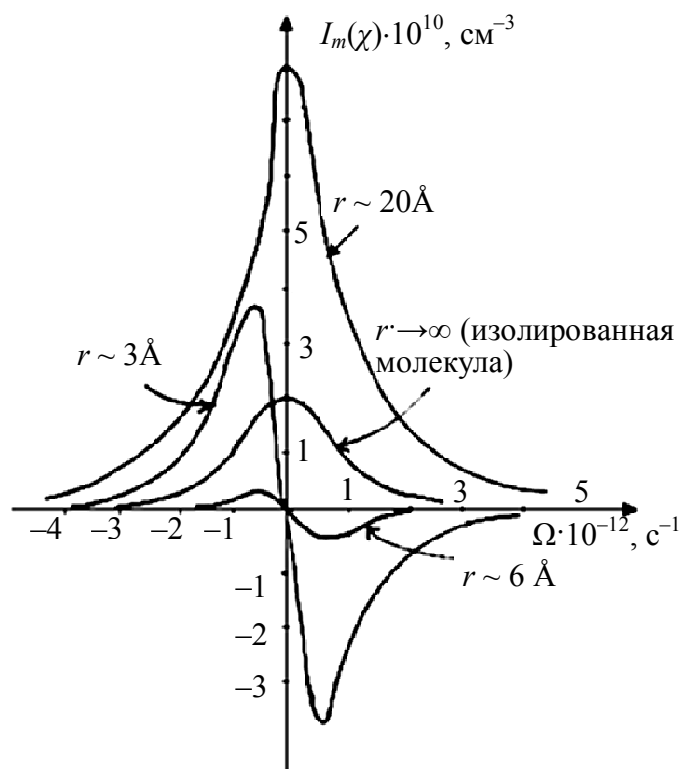


Рис. 4. Зависимость мнимой части нелинейной восприимчивости акцептора при различных расстояниях между ним и донором

Мнимая часть восприимчивости χ характеризует искажение контура полосы излучения донора при расстояниях между донором и акцептором порядка 3 и 6 Å.

Модель комплекса в виде связанных осцилляторов

Несмотря на достоинства квантово-механического подхода, его применение к рассматриваемым комплексам проблематично в случае, когда размеры магнитосомы превышают 100 нм, т. е. ее представление в виде квазимолекулы может стать некорректным. Этот подход не дает возможности анализировать взаимодействие большого количества элементов. Поэтому целесообразно рассмотреть иные методы описания комплекса.

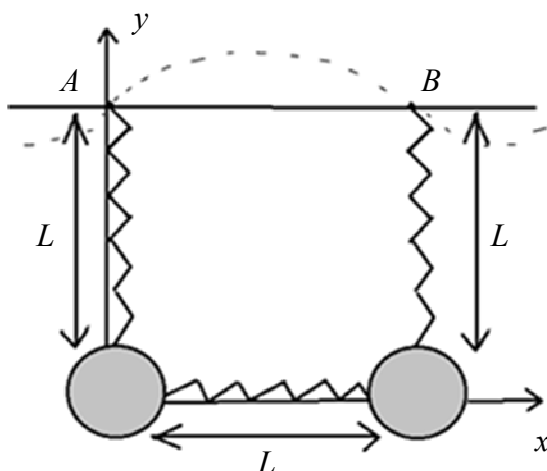


Рис. 5. Схематичное изображение комплекса в виде системы связанных осцилляторов

Этот подход не дает возможности анализировать взаимодействие большого количества элементов. Поэтому целесообразно рассмотреть иные методы описания комплекса.

Рассмотрим комплекс из магнитосом и филаментов цитоскелета как систему связанных осцилляторов (рис. 5). Тогда для описания ее динамики можно применить методы из теории колебаний и волн [8, 9]. Заменяем силы, действующие на

магнитосому в потенциальном поле, созданном сетью нейрофиламентов и ближайшими элементами ансамбля магнитосом, на упругие силы, подчиняющиеся закону Гука. Тогда мы можем считать, что динамика магнитосомы подобна динамике сложного пружинного маятника. Для простоты будем рассматривать взаимодействие только двух магнитосом между собой и с одной нитью нейрофиламентов. В результате получим систему связанных осцилляторов.

Поведение нити нейрофиламентов будем считать подобным поведению шнура, вдоль которого бежит волна вида $A\sin(\omega t - kx + \varphi)$. Конкретизируем, что точки крепления пружин (A и B , см. рис. 5) находятся на расстоянии половины длины волны, а движение магнитосом не оказывает влияния на динамику выделенной нами для рассмотрения части цитоскелета. Также будем считать, что все взаимодействия между элементами комплекса одно-типны, т. е. в представленной модели все пружины являются одинаковыми, имеют жесткость K и длину в состоянии покоя L . Получаемая в итоге приведенных упрощений модель, описывается следующей системой уравнений:

$$\begin{aligned}\ddot{x}_1 &= \frac{K}{m} \left(\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} - L \right), \\ \ddot{y}_1 &= \frac{K}{m} \left(\sqrt{(L - y_1)^2 + x_1^2} + A \sin \omega t - L \right), \\ \ddot{x}_2 &= -\frac{K}{m} \left(\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} - L \right), \\ \ddot{y}_2 &= \frac{K}{m} \left(\sqrt{(L - y_2)^2 + (x_2 - L)^2} + A \sin(\omega t + \varphi) - L \right).\end{aligned}\tag{20}$$

Решая ее методами вычислительной техники, предварительно конкретизируя такие параметры как L , K/m , A , ω и переходя к безразмерным переменным, получим значения координат и скоростей для каждого момента времени. Этого достаточно для наглядной демонстрации динамики элементов составленной модели. В частности, для некоторого набора параметров были получены следующие временные реализации и фазовые траектории, соответствующие периодическому движению первой «магнитосомы» вдоль оси X (рис. 6) и вдоль оси Y (рис. 7).

Анализируя временные реализации и фазовые траектории, можем отметить следующие закономерности. Колебания вдоль оси X имеют сходство с гармоническими колебаниями, модулированными по амплитуде. Это хорошо видно на рис. 6, *а*, *б*. Изменение фазового портрета происходит между устойчивым и неустойчивым фокусами, что в сумме дает изображение, напоминающее набор замкнутых траекторий типа неустойчивого цикла.

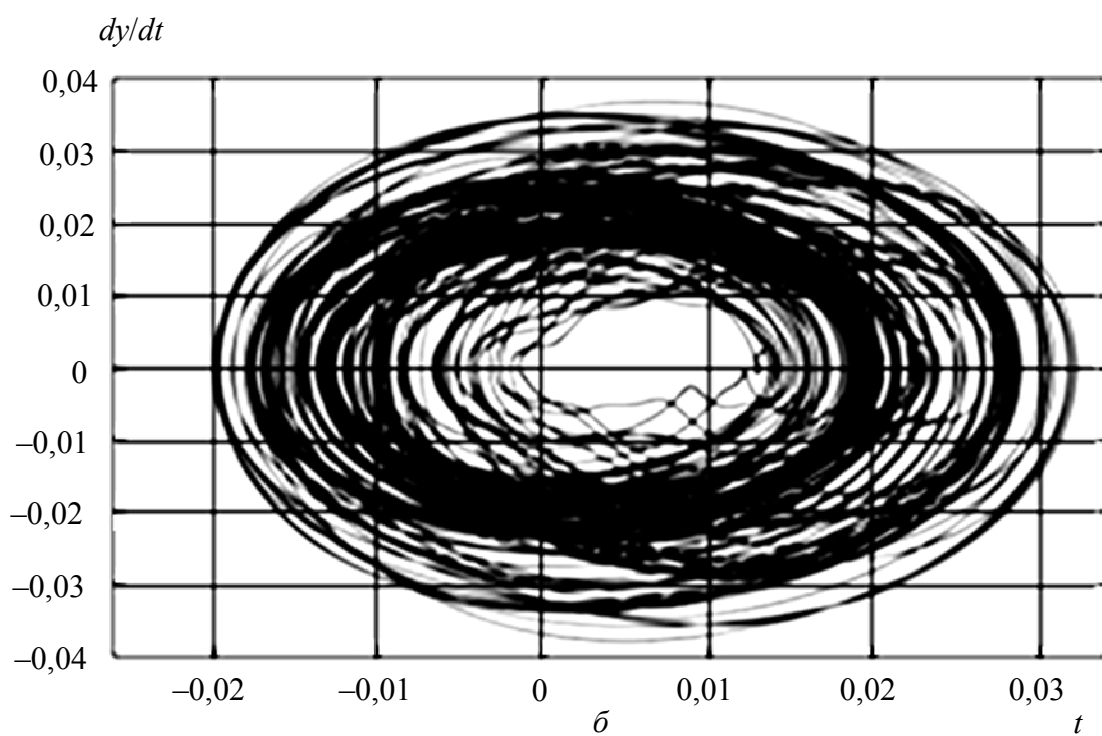
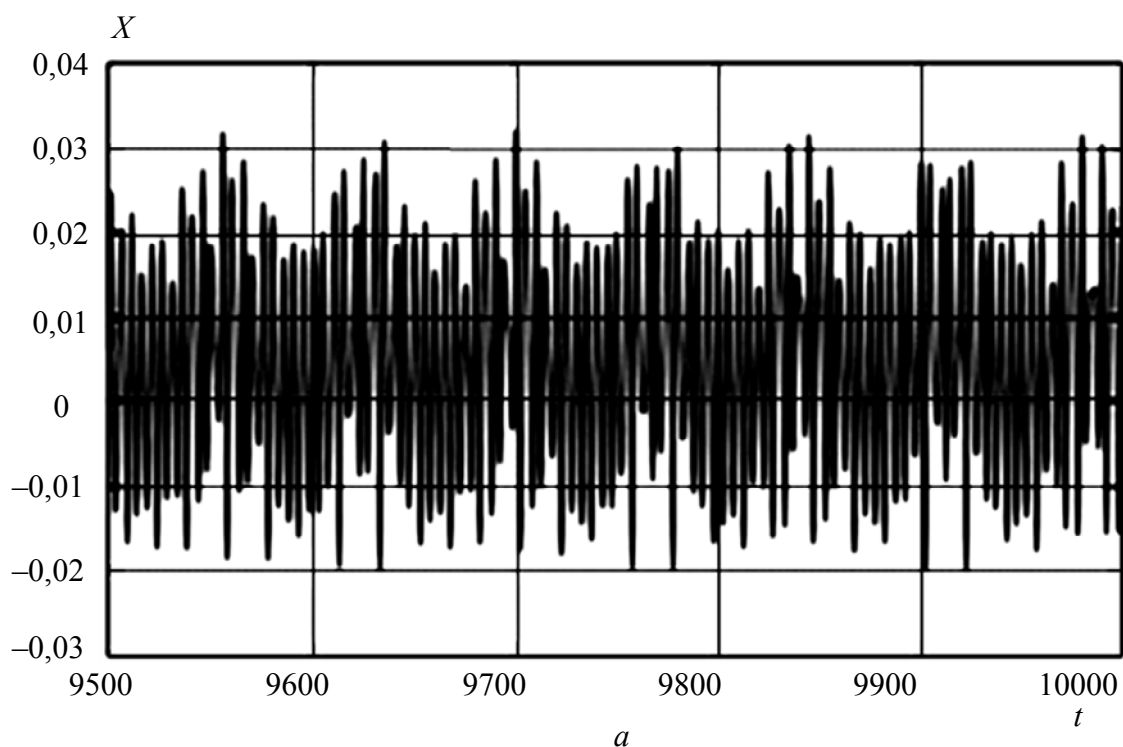
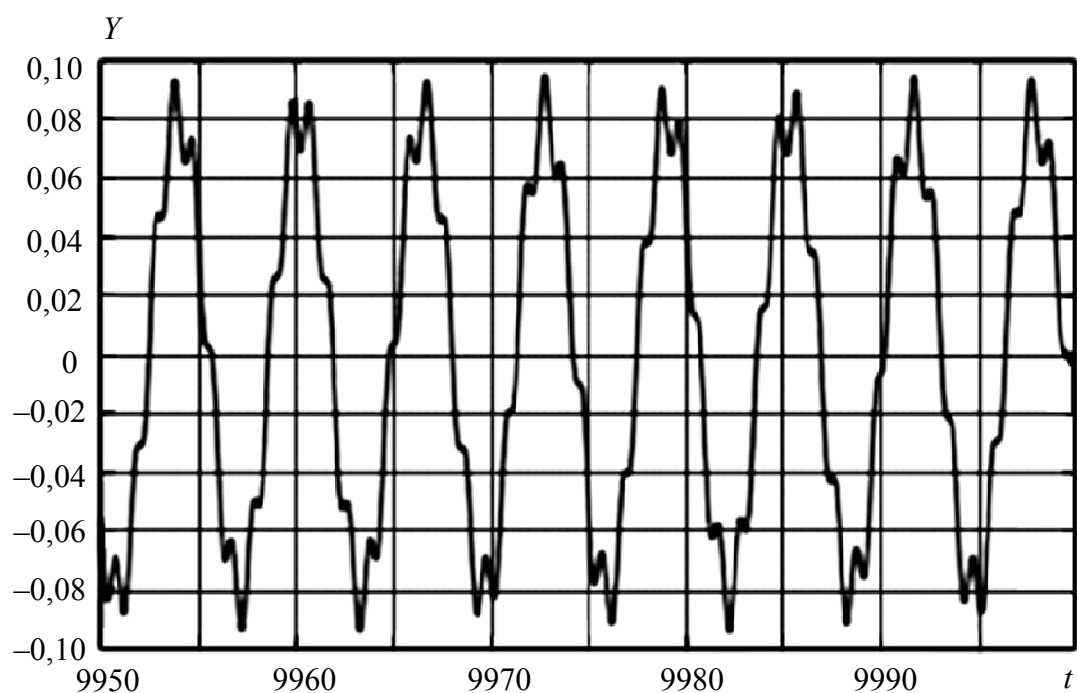


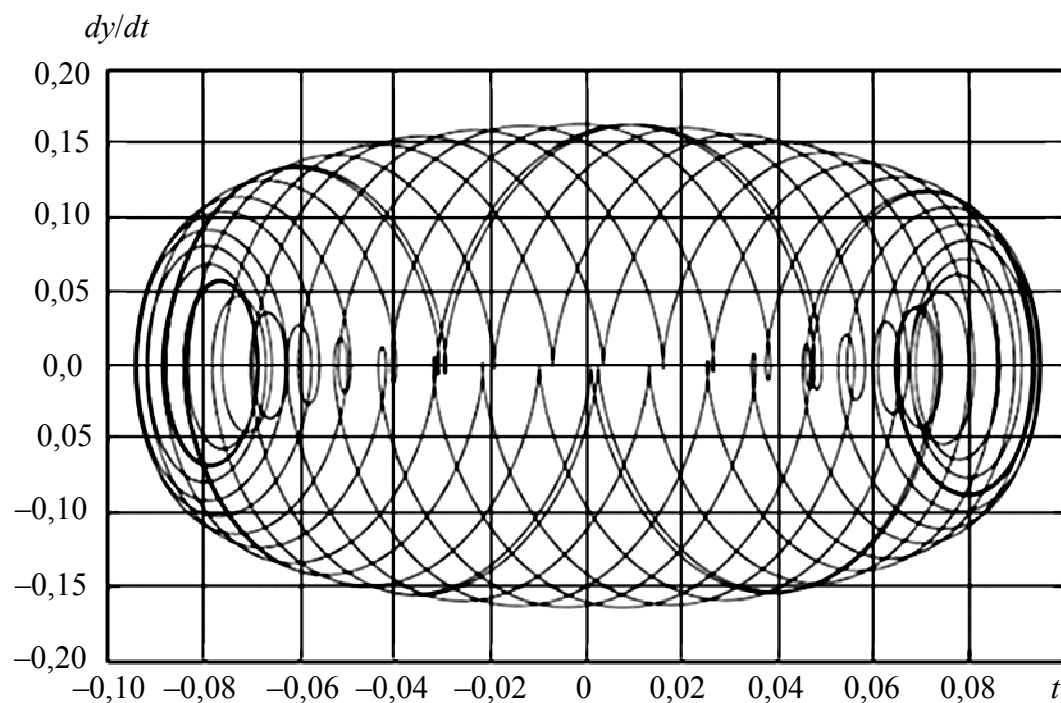
Рис. 6. Временная реализация (*a*) и фазовая траектория (*б*), описывающие колебания «магнитосомы» вдоль оси X

Закон, по которому происходит изменение амплитуды колебаний, не является очевидным и напоминает случайный процесс. Вдоль оси Y (см. рис. 7, *a*) движение также является периодическим с переменной амплитудой, однако его вид отличен от того, что рассматривался на рис. 6, *a*. Можно сделать вывод, что «магнитосома» движется рывками (то замедляясь, то ускоряясь, и довольно часто меняя направление своего движения). При

этом следует отметить, что в первом приближении в предлагаемой модели не были учтены условия, при которых мог бы произойти отрыв «магнитосомы» от цитоскелета. Поэтому утверждать, способен ли такой характер движения вызывать разрыв связи, преждевременно.



a



б

Рис. 7. Временная реализация (а) и фазовая траектория (б), описывающие колебания «магнитосомы» вдоль оси Y

Таким образом, при переходе к системе связанных осцилляторов мы сделали ряд упрощений, которые, строго говоря, делают нашу модель достаточно приближенной, поэтому в дальнейших исследованиях планируется предпринять следующие шаги:

– задать взаимодействие между элементами комплекса потенциалом Леннарда–Джонса или использовать его только для описания связи между магнитосомами, а их крепление к сети нейрофиламентов рассматривать с точки зрения белкового взаимодействия;

– увеличить количество элементов в модели, т. е. брать более двух магнитосом и не одну нить нейрофиламентов, а ячейку сети;

– перейти к рассмотрению динамики не в плоскости, а в пространстве.

Тогда мы также получим систему связанных осцилляторов, которую сможем анализировать, используя те же методы, что применялись в данной работе, однако динамика элементов будет приближена к реальному поведению магнитосом в рассматриваемых комплексах. Также станет возможным анализ условий и динамики процесса отрыва магнитосом от цитоскелета.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Киришвинка Дж.* Биогенный магнетит и магниторецепция. Новое о биомагнетизме : в 2 т. М. : Мир. 1989. Т. 2. 525 с.
2. *Kirschvink J. L., Kobayashi-Kirschvink A., Woodford B. J.* Magnetite biomineralization in the human brain // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. Biophysics. Vol. 89. P. 7683–7687.
3. *Искусных И. Ю., Попова Т. Н.* Роль магнитосом в нарушении клеточного гомеостаза и развитии патологий // Биомед. химия. 2010. Т. 56, вып. 5. С. 530–539.
4. *Бинги В. Н., Рубин А. Б.* Фундаментальная проблема магнитобиологии // Биомед. технологии и радиоэлектроника. 2007. № 24. С. 63–76.
5. *Гусев В. В., Дубровский В. А., Зотов В. И., Медведев Б. А.* Усиление двухфотонного фотовозбуждения за счет безызлучательного переноса энергии // Оптика и спектроскопия. 1986. Т. 61, вып. 2. С. 419–422.
6. *Гусев В. В., Дмитриева Е. И., Зотов В. И., Медведев Б. А.* Усиление излучения на двойной частоте в донорно-акцепторной паре за счет асимметрии мнимой части нелинейной восприимчивости акцептора // Оптика и спектроскопия. 1987. Т. 62, вып. 2. С. 457–460.
7. *Коротеев Н. И., Медведев Б. А., Штенцель О.* Активная спектроскопия молекулярных комплексов с сильной оптической нелинейностью // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 3 : Физика. Астрономия. 1987. Т. 28, № 5. С. 40–43.
8. *Рабинович М. И., Трубецков Д. И.* Введение в теорию колебаний и волн. Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». 2000. 560 с.
9. *Анищенко В. С.* Знакомство с нелинейной динамикой : лекции соросовского профессора : учеб. пособ. М.-Ижевск : Институт компьютерных исследований. 2002. 144 с.

УДК 001.891, 001.895

ОБЩЕПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ ПРИ ОБУЧЕНИИ ПО ПРОГРАММЕ МАГИСТРАТУРЫ «МАГНИТОЭЛЕКТРОНИКА В СИСТЕМАХ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ И БЕЗОПАСНОСТИ»

Л. А. Романченко, С. П. Кудрявцева

Саратовский национальный исследовательский
государственный университет имени Н. Г. Чернышевского
Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83
E-mail: lari_rrr@mail.ru

В статье приводится детальная характеристика общепрофессиональных компетенций для прикладной магистратуры «Магнитоэлектроника в системах защиты информации и безопасности» с учетом особенностей обучения.

Ключевые слова: компетенция, магистратура, обучение.

General Professional Competences for Master Program «Magnetoelectronics in the Information Protection and Safety Systems»

L. A. Romanchenko, S. P. Kudryavceva

Article reveals the content of general professional competences for applied master program «Magnetoelectronics in the information protection and safety systems». General professional competences are formed taking into account the features of scientific innovation activity of graduate.

Key words: competence, master program, training.

Обучение по программе «Магнитоэлектроника в системах защиты информации и безопасности» подготовки магистров обеспечивает освоение студентами набора компетенций, предусмотренных Федеральным государственным образовательным стандартом по направлению 03.04.02 «Физика».

Общекультурные (ОК) и общепрофессиональные компетенции (ОПК) являются едиными для всех профилей подготовки в рамках направления 03.04.02 «Физика». Однако магистратура «Магнитоэлектроника в системах защиты информации и безопасности» ориентирована на научно-инновационный вид деятельности будущего выпускника и имеет свои особенности, в том числе и в части общепрофессиональных компетенций [1–4].

Компетенция ОПК-1 определяется как готовность к коммуникации в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном языке для решения задач профессиональной деятельности. Данная компетенция у студентов магистратуры формируется при изучении дисциплин «Философские вопросы естествознания. История и методология физики», «Современные проблемы физики», «Английский

язык в сфере профессиональной деятельности», «Магнетизм в квантово-размерных структурах», «Системное моделирование на языке описания аппаратуры», «Научно-исследовательский семинар», а также при прохождении научно-исследовательской, научно-педагогической практики и при выполнении научно-исследовательской работы. В результате студенты должны продемонстрировать навыки профессионального коммуникационного общения и владения научной терминологией на русском и иностранном языках, овладеть техникой перевода иностранной литературы, самостоятельно справляться с профессиональным изложением результатов исследования, подготовкой докладов и выступлений на международных конференциях на русском и иностранном языках.

Компетенция ОПК-2 как готовность руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия, формируется при выполнении студентами научно-исследовательской работы в течение практически всего периода обучения. Научно-исследовательская работа развивает навыки совместной работы в различных научных коллективах, управления и организации исследования. Студенты самостоятельно выполняют научные исследования и берут на себя ответственность за принятые решения и направленность исследования. Важную роль при этом играет способность студентов толерантно воспринимать социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия. Для этого они должны хорошо знать базовые принципы развития жизни общества и работы в научных группах и малых коллективах. Для промежуточной аттестации по научно-исследовательской работе предусмотрены практические контрольные задания, которые тесно связаны с научной тематикой магистерской выпускной квалификационной работы.

Компетенция ОПК-3 – способность к активной социальной мобильности, организации научно-исследовательских и инновационных работ. Овладение данной компетенцией происходит в процессе выполнения научно-исследовательской работы, при прохождении научно-исследовательской, научно-инновационной и преддипломной практик, а также на научно-исследовательском семинаре. В результате студенты должны познакомиться с принципами организации научно-исследовательских и инновационных работ, современной конъюнктурой рынка труда, научиться применять свои знания и умения в различных сферах профессиональной деятельности, овладеть навыками организации научно-исследовательской и инновационной работы.

Компетенция ОПК-4 – способность адаптироваться к изменению научного профиля своей профессиональной деятельности, социокультурных и социальных условий деятельности. Для того, чтобы выпускник магистратуры мог в дальнейшем менять направление научной деятельности, профиль своей научной работы или место работы, необходимо владение на высоком уровне знаниями из нескольких областей теоретической и экспериментальной физики, способностью к адаптации в меняющихся социокультурных и социальных условиях деятельности.

Компетенция ОПК-5 определяется как способность использовать свободное владение профессионально-профилированными знаниями в области компьютерных технологий для решения задач профессиональной деятельности, в том числе находящихся за пределами направленности (профиля) подготовки. Компетенция ОПК-5 формируется при изучении дисциплин «Современные системы автоматизированного проектирования микро- и наноструктурных устройств», «Моделирование полупроводниковых приборов и устройств для систем информации и безопасности», «Аналитические методы теории флуктуационных процессов», «Функциональный анализ в физических задачах», «Введение в компьютерную графику и методы визуализации эксперимента», «Введение в методы кодирования данных», «Алгоритмы точных машинных вычислений», «Микропроцессорные средства автоматизации», прохождении научно-инновационной и преддипломной практик. В результате студенты должны:

- демонстрировать высокий уровень владения навыками обработки, сохранения, подачи и защиты полученной информации;
- уметь работать с компьютером;
- использовать компьютерные технологии для решения задач как профессиональной, так и произвольной направленности;
- преобразовывать информацию в звуковую или зрительную;
- хорошо знать основные методы, способы и средства получения; хранения, переработки информации, основы информационной безопасности.

Компетенция ОПК-6 определяет способность использовать знания современных проблем и новейших достижений физики в научно-исследовательской работе. Она формируется при изучении дисциплин «Специальный физический практикум», «Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника в системах защиты информации и безопасности», «Современные системы автоматизированного проектирования микро- и наноструктурных устройств», «Моделирование полупроводниковых приборов и устройств для систем информации и безопасности», «Теория теплопроводности», «Методы планирования и обработки результатов физического эксперимента», «Магнитоуправляемые наночастицы для медицинских исследований», «Магнетизм в квантово-размерных структурах», «Системное моделирование на языке описания аппаратуры», «Компьютерные модели флуктуационных процессов», «Технические средства защиты информации для гетеромагнитных микро- и наноустройств», «Микро-и наноструктурные датчики физических величин в системах защиты информации и безопасности», «Формирование, обработка и средства передачи информации», «Научно-исследовательский семинар», при прохождении научно-исследовательской, научно-педагогической, научно-инновационной, преддипломной практики, а также при выполнении научно-исследовательской работы. В итоге студенты овладевают навыками работы с прикладными аспектами экспериментальной и теоретической физики, учатся применять полученные знания для решения поставленных актуальных задач в своей научно-исследовательской работе. Для успешного овладения этими умениями и навыками необходимы знания основных современных проблем и новейших достижений физики.

Компетенция ОПК-7 – способность демонстрировать знания в области философских вопросов естествознания, истории и методологии физики – формируется при изучении дисциплин «Философские вопросы естествознания. История и методология физики», «Современные проблемы физики».

Освоение данной компетенции происходит через познание философских основ естествознания, основных этапов и закономерностей исторического развития и основ методологии физики и овладение методами философского познания окружающего мира. У студентов формируются культура научного мышления, способность оценивать закономерности исторического развития физики, прогнозировать развитие физики. В результате освоения ОПК-7 студенты должны научиться системно мыслить, формировать мировоззренческую позицию на основе полученных знаний, анализировать и оценивать исторические события и процессы, применять полученные знания в профессиональной и социальной деятельности, формулировать научную позицию в призма философского мировоззрения.

Каждая из общепрофессиональных компетенций осваивается студентами на протяжении всего периода обучения, так как ОПК относятся к различным дисциплинам и практикам. Текущая аттестация проводится в виде индивидуального собеседования, выполнения студентами практических контрольных заданий и рефератов. Окончательная оценка уровня сформированности компетенций проводится на этапе государственной итоговой аттестации – защите выпускной квалификационной работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Игнатъев А. А., Кудрявцева С. П., Романченко Л. А.* Магистерская программа «Магнитоэлектроника в системах защиты информации и безопасности» // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2015. Вып. 18 : Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Методические аспекты физического образования. Экономика в промышленности. С. 92–98.

2. *Игнатъев А. А., Кудрявцева С. П., Романченко Л. А.* Прикладная магистратура по профилю подготовки «Магнитоэлектроника в системах защиты информации и безопасности» // Непрерывная предметная подготовка в контексте педагогических инноваций : сб. науч. тр. двенадцатой междунар. заочной науч.-метод. конф. : в 2 ч. Саратов : Изд-во СРОО «Центр "Просвещение"». 2016. Ч. 1. С. 184–189.

3. *Игнатъев А. А., Кудрявцева С. П., Романченко Л. А.* Эффективность компетентностного подхода при подготовке студентов к научной деятельности на примере магистратуры «Магнитоэлектроника в системах защиты информации и безопасности» // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2015. Вып. 19 : Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Методические аспекты физического образования. Экономика в промышленности. С. 73–76.

4. *Игнатъев А. А., Кудрявцева С. П., Романченко Л. А.* Магистерские программы и перспективы развития магистратуры на кафедре общей физики СГУ // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2013. Вып. 14 : Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Методические аспекты физического образования. С. 123–130.

**ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ ПРИ ОБУЧЕНИИ
ПО ПРОГРАММЕ МАГИСТРАТУРЫ «МАГНИТОЭЛЕКТРОНИКА
В СИСТЕМАХ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ И БЕЗОПАСНОСТИ»**

А. А. Игнатьев, Л. А. Романченко

Саратовский национальный исследовательский
государственный университет имени Н. Г. Чернышевского
Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83
E-mail: lari_rrr@mail.ru

В статье раскрывается содержание профессиональных компетенций для прикладной магистратуры «Магнитоэлектроника в системах защиты информации и безопасности». Профессиональные компетенции формируются с учетом особенностей научно-инновационной деятельности выпускника.

Ключевые слова: компетенция, магистратура, обучение.

**Professional Competences for Master Program «Magnetoelectronics in the
Information Protection and Safety Systems»**

A. A. Ignatiev, L. A. Romanchenko

Article reveals the content of professional competences for applied master program «Magnetoelectronics in the information protection and safety systems». Professional competences are formed taking into account the features of scientific innovation activity of graduate.

Key words: competence, master program, education.

Федеральным государственным образовательным стандартом по направлению подготовки магистров 03.04.02 «Физика» предусмотрены семь профессиональных компетенций. При этом набор компетенций для каждого профиля подготовки магистров по данному направлению определяется видом деятельности выпускника. Прикладная магистратура «Магнитоэлектроника в системах защиты информации и безопасности» предусматривает освоение двух компетенций, относящихся к научно-инновационной деятельности [1–3]:

– способности свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности (ПК-2);

– способности принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности (ПК-3).

Традиционно количество профессиональных компетенций по сравнению с количеством общепрофессиональных и общекультурных компетенций является небольшим. Но именно освоение профессиональных компетенции позволяет студентам магистратуры подготовиться к предстоящей научно-инновационной деятельности в аспирантуре или на производстве.

Освоение компетенции ПК-2 происходит поэтапно на двух уровнях. Первый уровень формируется при изучении дисциплин «Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника в системах защиты информации и безопасности», «Моделирование полупроводниковых приборов и устройств для систем информации и безопасности», «Компьютерные модели флуктуационных процессов», «Технические средства защиты информации для гетеромагнитных микро- и наноприборов». В результате студент должен хорошо разбираться в физических процессах и явлениях гетеромагнитной микро- и наноэлектроники, знать основные принципы построения гетеромагнитных микро- и наносистем, основные проблемы развития гетеромагнитной микро- и наноэлектроники, ориентироваться в выборе элементной базы для конкретных применений их в СВЧ технике. На лабораторных занятиях студент учится планировать эксперимент, обрабатывать результаты измерений, анализировать их и на основе анализа, корректировать спланированный эксперимент.

Второй (завершающий) уровень формируется при прохождении практик (научно-исследовательской, научно-инновационной, преддипломной), а также во время выполнения научно-исследовательской работы. В результате студент должен овладеть методами организации эффективной совместной работы в группе при проведении теоретических и экспериментальных исследований, уметь четко определять цели научной работы, грамотно распределять усилия по достижению поставленной цели, разбираться в научно-технической документации [4–6].

В связи с тем, что компетенция ПК-3 формируется на 1 и 2 курсах программы магистратуры во время прохождения разного вида практик и при изучении различных дисциплин, то можно выделить два уровня освоения данной компетенции. Первый уровень – при изучении дисциплин «Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника в системах защиты информации и безопасности», «Теория магнитной записи информации», «Теория теплопроводности».

В процессе формирования первого уровня компетенции ПК-3 студент овладевает методами расчета и проектирования гетеромагнитных микро- и наносистем и их составляющих, методикой проведения эксперимента, учится строить модели гетеромагнитных устройств для систем защиты информации и безопасности, планировать эксперимент. Студент также должен знать основные проблемы развития гетеромагнитной микро- и наноэлектроники, разбираться в физических процессах и явлениях гетеромагнитной микро- и наноэлектроники.

При прохождении практик – научно-исследовательской, научно-инновационной, преддипломной, а также во время выполнения научно-исследовательской работы, формируется второй уровень освоения профессиональной компетенции ПК-3. В результате студент должен уверенно владеть методами проведения экспериментальных исследований с приме-

нением сложного высокотехнологичного оборудования, уметь работать в научном коллективе, знать правила организации совместной научной работы, хорошо разбираться в правилах эксплуатации технологического оборудования, применяемого при проведении исследований, уметь составлять отчеты по проведенной научной работе [4–6].

Проверка уровня сформированности обеих компетенций происходит во время защиты выпускной квалификационной работы, где оцениваются доклад студента, ответы на вопросы комиссии. При этом особое значение имеют те разделы выпускной квалификационной работы, где представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований, отражающие научно-инновационный характер работы. Отзыв научного руководителя и внешняя рецензия также дают возможность составить представление об уровне сформированности компетенций у выпускника.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Игнатъев А. А., Кудрявцева С. П., Романченко Л. А.* Реализация магистерской программы «Магнитоэлектроника в системах защиты информации и безопасности» направления 011200 «Физика» // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2014. Вып. 16 : Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Методические аспекты физического образования. Экономика в промышленности. С. 75–77.

2. *Игнатъев А. А., Кудрявцева С. П., Романченко Л. А.* Магистерская программа «Магнитоэлектроника в системах защиты информации и безопасности» // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2015. Вып. 18 : Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Методические аспекты физического образования. Экономика в промышленности. С. 92–98.

3. *Игнатъев А. А., Кудрявцева С. П., Романченко Л. А.* Прикладная магистратура по профилю подготовки «Магнитоэлектроника в системах защиты информации и безопасности» // Непрерывная предметная подготовка в контексте педагогических инноваций : сб. науч. тр. в 2 ч. Саратов : СРОО «Центр "Просвещение"». 2016. Ч. 1. С. 184–190.

4. *Игнатъев А. А., Кудрявцева С. П., Романченко Л. А.* Эффективность компетентностного подхода при подготовке студентов к научной деятельности на примере магистратуры «Магнитоэлектроника в системах защиты информации и безопасности» // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2015. Вып. 19 : Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Методические аспекты физического образования. Экономика в промышленности. С. 73–76.

5. *Игнатъев А. А., Кудрявцева С. П., Романченко Л. А., Ляшенко А. В.* Научно-исследовательская работа по программе прикладной магистратуры «Магнитоэлектроника в системах защиты информации и безопасности» // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2016. Вып. 20 : Теоретические и экспериментальные исследования, компьютерные технологии. Методические аспекты физического образования. Экономика в промышленности. С. 106–109.

6. *Игнатъев А. А., Кудрявцева С. П., Романченко Л. А.* Практики и научно-исследовательская работа для подготовки магистров по профилю «Магнитоэлектроника в системах защиты информации и безопасности» // Воспитательный потенциал инновационной образовательной среды : сб. науч. тр. Одиннадцатой Международной заочной научно-методической конференции. 2015. С. 119–121.

**НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ
ПО ПРОГРАММЕ ПРИКЛАДНОЙ МАГИСТРАТУРЫ
«МАГНИТОЭЛЕКТРОНИКА В СИСТЕМАХ ЗАЩИТЫ
ИНФОРМАЦИИ И БЕЗОПАСНОСТИ»**

Л. А. Романченко, А. А. Игнатъев

Саратовский национальный исследовательский
государственный университет имени Н. Г. Чернышевского
Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83
E-mail: lari_grr@mail.ru

Статья посвящена государственной итоговой аттестации по программе подготовки магистров «Магнитоэлектроника в системах защиты информации и безопасности». Изложены основные цели и задачи ГИА, структура выпускной квалификационной работы и критерии оценивания результатов ее защиты.

Ключевые слова: магистерская программа, государственная итоговая аттестация, магнитоэлектроника.

**Some Aspects of Final State Attestation According to the Applied
Master Program «Magnetoelectronics in the Information Protection and Safety Systems»**

L. A. Romanchenko, A. A. Ignatiev

The article is about final state attestation, according to the master program «Magnetoelectronics in the information protection and safety systems». There presented main goals and tasks of final state attestation, structure of final qualifying work and evaluation criteria of its protection results.

Key words: master program, final state attestation, magnetoelectronics.

Государственная итоговая аттестация (ГИА), завершающая освоение основных образовательных программ, является обязательной для обучающихся. Основная цель ГИА – определение уровня сформированности компетенций выпускника и его подготовленности к выполнению профессиональных задач.

Государственная итоговая аттестация в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по программе «Магнитоэлектроника в системах защиты информации и безопасности» направления подготовки 03.04.02 «Физика» заключается в защите выпускной квалификационной работы (ВКР), включая подготовку к ней (государственный экзамен не предусмотрен). ГИА проводится в форме доклада студента по его ВКР с последующим обсуждением выступления членами Государственной экзаменационной комиссии (ГЭК).

Уровень сформированности компетенций находит отражение в самой ВКР, отзыве научного руководителя, рецензии, докладе студента во время защиты и в ответах студента на дополнительные вопросы комиссии [1]. Все эти факторы оцениваются ГЭК по пятибалльной шкале.

Тема ВКР должна быть направлена на решение практических научно-инновационных задач, связанных с применением магнитоэлектронных устройств для защиты информации и безопасности, так как магистратура «Магнитоэлектроника в системах защиты информации и безопасности» является прикладной [2, 3]. Студенту может быть предоставлена возможность подготовки и защиты ВКР по самостоятельно предложенной теме в случае обоснования целесообразности ее разработки для практического применения в соответствующей области профессиональной деятельности или на конкретном объекте профессиональной деятельности.

В ВКР магистранта должны быть представлены [4]:

- обоснование актуальности темы, обусловленной потребностями теории и практики и степенью разработанности темы в научной и научно-практической литературе;
- изложение теоретических и практических положений, раскрывающих предмет ВКР;
- графический материал (рисунки, графики и др.);
- выводы, рекомендации и предложения;
- приложения (при необходимости).

Структура ВКР определена стандартом [4]:

- титульный лист;
- содержание с указанием номеров страниц составных частей работы;
- введение;
- основная часть;
- заключение;
- список использованных источников и литературы;
- приложения (при необходимости).

Введение содержит обоснование актуальности выбранной темы, степень разработанности проблемы, цели и задачи исследования, краткую характеристику научной новизны и значимости результатов, описание структуры ВКР, апробацию результатов работы (при наличии).

Основная часть раскрывает предмет исследования.

Заключение включает последовательное изложение итогов исследования в соответствии с целью и задачами работы. В нем содержатся выводы и определяются дальнейшие перспективы работы.

Список использованных источников включает все использованные источники: опубликованные, неопубликованные и электронные.

ВКР должна быть написана студентом самостоятельно с допустимой долей заимствований не более 20%.

В рабочей программе ГИА по программе «Магнитоэлектроника в системах защиты информации и безопасности» представлен фонд оценочных средств, ориентируясь на который студент совместно с научным руководителем может подготовить ВКР и доклад так, чтобы в полной мере представить все компетенции, предусмотренные для данного профиля подготовки.

Компетенции выпускника магистратуры «Магнитоэлектроника в системах защиты информации и безопасности» направления 03.04.02 «Физика» и соответствующие им оценочные средства представлены в таблице.

Оценочные средства для контроля сформированности компетенций

Контролируемые компетенции (шифр компетенции)	Оценочные средства
Способность к абстрактному мышлению, синтезу (ОК-1)	ВКР; отзыв научного руководителя и рецензия
Готовность действовать в нестандартных ситуациях, нести социальную и этическую ответственность за принятые решения (ОК-2)	ВКР; ответы студента на дополнительные вопросы; отзыв научного руководителя и рецензия
Готовность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала (ОК-3)	ВКР; доклад студента; ответы студента на дополнительные вопросы
Готовность к коммуникации в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном языке для решения задач профессиональной деятельности (ОПК-1)	ВКР; доклад студента; ответы студента на дополнительные вопросы
Готовность руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия (ОПК-2)	ВКР; доклад студента; ответы студента на дополнительные вопросы; отзыв научного руководителя и рецензия
Способность к активной социальной мобильности, организации научно-исследовательских и инновационных работ (ОПК-3)	Ответы студента на дополнительные вопросы; отзыв научного руководителя и рецензия
Способность адаптироваться к изменению научного профиля своей профессиональной деятельности, социокультурных и социальных условий деятельности (ОПК-4)	Доклад студента; ответы студента на дополнительные вопросы; отзыв научного руководителя и рецензия
Способность использовать свободное владение профессионально-профилированными знаниями в области компьютерных технологий для решения задач профессиональной деятельности, в том числе находящихся за пределами направленности (профиля) подготовки (ОПК-5)	ВКР; доклад студента; ответы студента на дополнительные вопросы; отзыв научного руководителя и рецензия
Способность использовать знания современных проблем и новейших достижений физики в научно-исследовательской работе (ОПК-6)	ВКР; доклад студента; ответы студента на дополнительные вопросы; отзыв научного руководителя и рецензия

Контролируемые компетенции (шифр компетенции)	Оценочные средства
Способность демонстрировать знания в области философских вопросов естествознания, истории и методологии физики (ОПК-7)	Доклад студента; ответы студента на дополнительные вопросы
Способность свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности (ПК-2)	ВКР; доклад студента; ответы студента на дополнительные вопросы; отзыв научного руководителя и рецензия
Способность принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности (ПК-3)	ВКР; доклад студента; ответы студента на дополнительные вопросы; отзыв научного руководителя и рецензия

*Критерии оценивания результатов защиты
выпускной квалификационной работы*

Оценка «отлично». Тема ВКР обладает несомненной актуальностью. Работа является оригинальной и включает в себя новый содержательный научный результат, обладающий научной значимостью. Цели и задачи работы полностью выполнены. Работы выполнена на высоком уровне с применением современных теоретических и (или) экспериментальных методов. Текст работы четко и логично выстроен, грамотно написан и аккуратно оформлен. Четко обоснованы актуальность темы ВКР, научная новизна, теоретическая и (или) практическая значимость исследований. Во время защиты студент полностью уложился в отведенный временной регламент, продемонстрировал высокий уровень общетеоретической подготовки, умение вести научную дискуссию, уверенное владение материалом, дал исчерпывающие ответы на заданные комиссией вопросы.

Оценка «хорошо». Тема ВКР является актуальной. Работа содержит результаты, полезные для соответствующей области науки, носит оригинальный характер. Цели и задачи работы в основном выполнены. Студент продемонстрировал достаточную научную квалификацию и навыки владения современными теоретическими и (или) экспериментальными методами исследований. Текст работы в целом логично структурирован и грамотно написан, однако встречаются погрешности в оформлении. В достаточной мере обоснованы актуальность темы ВКР, научная новизна, теоретическая и (или) практическая значимость выполненного исследования. В процессе защиты обучающийся не уложился в отведенный временной регламент, но продемонстрировал достаточный уровень общетеоретической подготовки и навыки ведения научной дискуссии, владение материалом, допускал неточности при ответах на вопросы комиссии.

Оценка «удовлетворительно». Тема ВКР имеет признаки актуальности. Работа является самостоятельной, однако содержательность и полезность результатов неочевидны. Цели и задачи работы выполнены частично. В тексте имеются существенные недостатки и погрешности в оформлении. Актуальность темы ВКР, научная новизна, теоретическая и (или) практическая значимость выполненного исследования обоснованы недостаточно. В процессе защиты обучающийся не уложился в отведенный временной регламент. При ответах на вопросы обучающийся дал удовлетворительные пояснения, однако недостаточно уверенно владел материалом и показал слабую общетеоретическую подготовку.

Оценка «неудовлетворительно». Актуальность темы ВКР вызывает сомнения. Поставленные цели и задачи работы не выполнены. Полученные результаты не обладают научной новизной, теоретической и (или) практической значимостью. В тексте отсутствует связность и логичность, имеются серьезные недостатки в оформлении. В процессе защиты обучающийся не уложился в отведенный временной регламент. При ответах на вопросы обучающийся продемонстрировал низкий уровень общетеоретической подготовки и слабое владение материалом. В работе имеется плагиат.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аникин В. М., Пойзнер Б. Н. Эпистемологические упражнения магистранта: формулировка и оценка научных положений в своей диссертации // Изв. вузов. Физика. 2012. Т. 55, № 8/3. С. 213–214.

2. Игнатьев А. А., Кудрявцева С. П., Романченко Л. А. Магистерская программа «Магнитоэлектроника в системах защиты информации и безопасности» // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2015. Вып. 18 : Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Методические аспекты физического образования. Экономика в промышленности. С. 92–98.

3. Игнатьев А. А., Кудрявцева С. П., Романченко Л. А. Прикладная магистратура по профилю подготовки «Магнитоэлектроника в системах защиты информации и безопасности» // Непрерывная предметная подготовка в контексте педагогических инноваций : сб. науч. тр. : в 2 ч. Изд-во СРОО «Центр «Просвещение», 2016. Ч. 1. С. 184–190.

4. Игнатьев А. А., Кудрявцева С. П., Романченко Л. А. Магистерские программы и перспективы развития магистратуры на кафедре общей физики СГУ // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2013. Вып. 14 : Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Методические аспекты физического образования. С. 123–130.

5. Стандарт организации СТО 1.04.01–2012. Курсовые работы (проекты) и выпускные квалификационные работы. Порядок выполнения, структура и правила оформления. URL : http://www.sgu.ru/sites/default/files/documents/2016/sto_1.04.01_-_2012.pdf (дата обращения : 15.03.2017).

УДК 338.32

ФОРМИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИИ

А. Н. Плотников, Д. А. Плотников

Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю. А.
Россия, 410054, Саратов, Политехническая, 77
E-mail: a.n.plotnikov@mail.ru

Статья посвящена формированию механизма энергосбережения и повышения энергоэффективности на предприятии. В статье рассмотрены элементы такого механизма и предложен алгоритм его работы.

Ключевые слова: топливно-энергетические ресурсы, механизм, цена, квота, тариф, энергорынок.

Formation of the Mechanism of Energy Saving and Increases in Energy Efficiency at the Enterprise

A. N. Plotnikov, D. A. Plotnikov

The article is devoted to the formation of the energy saving and energy efficiency improvement mechanism at the enterprise. The article considers the elements of such a mechanism and suggests an algorithm for its operation.

Key words: fuel and energy resources, mechanism, price, quota, tariff, energy market.

Эффективное использование топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) имеет большое значение для экономики. Но чтобы реализовать стратегию энергосбережения, необходимы соответствующие механизмы регулирования ТЭР. В настоящее время таким механизмам посвящены публикации как отечественных, так и зарубежных экономистов [1, 2]. Исследователи констатируют наличие разницы между регулируемыми и рыночными ценами на ТЭР. Они считают, что такая разница в ценах отражает издержки на производство и реализацию ТЭР, характеризует значимость энергетической сферы в отечественной экономике. Более того, они приходят к выводу о том, что чем больше разница в ценах, тем больше необходимость в расширении мощностей, генерирующих электрическую и иную энергию, тем выше побочный эффект энергетической компоненты в составе валового внутреннего продукта (ВВП) национальной экономики. И наоборот, несущественная разница между регулируемыми и свободными ценами на ТЭР свидетельствует о хорошей обеспеченности производства собственными энергоисточниками и достигается либо за счет высокой экономии энергоисточников потребителями, либо за счет генерации ими дополнительной энергии.

Теоретически возможен вариант, при котором регулируемая цена на ТЭР превышает их свободную цену, что в принципе маловероятно на практике. Но такая ситуация свидетельствует о достижении высокого технологического уровня в области энергетики.

С целью регулирования уровня природопользования необходим соответствующий механизм, который бы учитывал базовые положения методологии регулирования квот на природопользование (экстерналий). Такой механизм, по нашему мнению, должен включать следующие элементы:

- допустимые объемы использования природных ресурсов и выбросов в окружающую среду;
- квоты допустимых объемов использования природных ресурсов и выбросов в окружающую среду для крупных предприятий;
- лимит потребления и выбросов для каждой входящей и выходящей трубы;
- автоматический учет расхода энергетических и сырьевых ресурсов в течение суток;
- нормы снижения потребления сырьевых ресурсов и выбросов в течение года;
- санкции за превышение установленных квот.

Предлагаемый механизм работает следующим образом. Если предприятие уменьшает фактические выбросы по сравнению с установленной квотой, то величину уменьшения оно имеет право продать в качестве дополнительной квоты другому предприятию, которое не смогло уложиться в установленный лимит по снижению выбросов, что грозит ему штрафом. Такие квоты можно приобрести либо заключив двухсторонний договор, либо приняв участие в электронной бирже экстерналий. Таким образом, предприятия, достигшие снижения выбросов и тем самым уменьшив потребление ТЭР, продавая свою квоту, получают вознаграждение за экономию энергоресурсов, за рациональное их потребление. Результатом использования такого механизма, предполагающего введение квот не только на выбросы загрязняющих веществ, но и на использование ТЭР, является создание стимулов активного энергосбережения, уменьшения выбросов отходов и тем самым - улучшение состояния окружающей среды.

По нашему мнению, использование такого рыночного механизма позволит саморегулировать потребление природных ресурсов и выбросов в окружающую среду [3–8]. Цены, квоты и тарифы на ресурсы, включая энергоресурсы, должны регулироваться соответствующими комиссиями федерального и регионального уровней, привлекая для их формирования представителей крупных компаний и общественности.

Механизм энергосбережения и повышения энергоэффективности применительно к промышленным предприятиям представлен на рисунке.

Алгоритм работы механизма энергосбережения следующий:

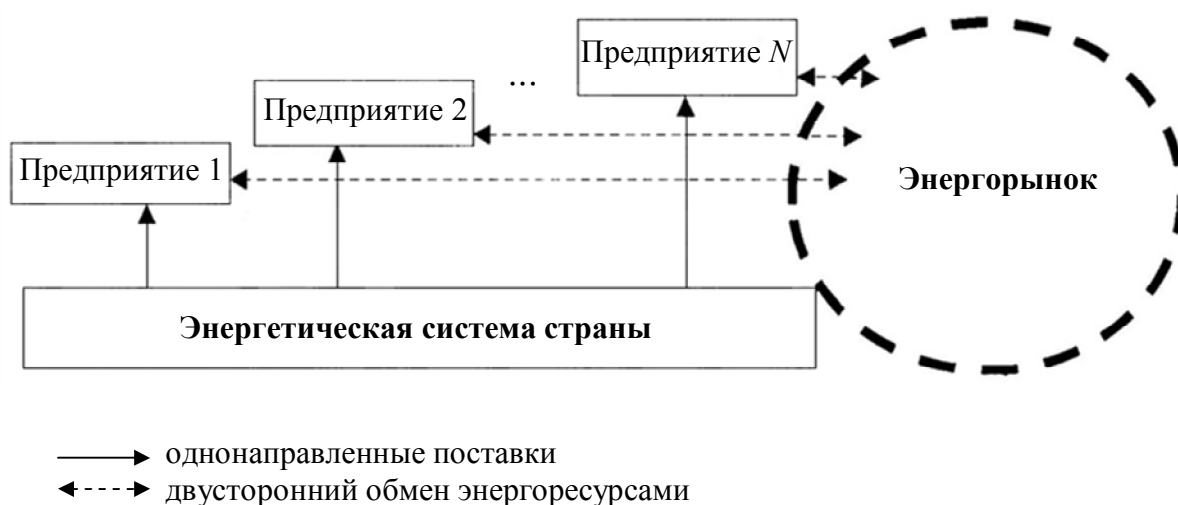
- определяется ожидаемое потребление энергоресурсов на период от 3 до 5 лет для каждой крупной компании (группы однотипных мелких предприятий);

– формируются сводные топливно-энергетические балансы (ТЭБ) страны и регионов и рассчитываются объемы снижения энергопотребления в рамках страны и регионов на 3–5 лет на основе прогнозных объемов потребления энергоресурсов крупных компаний (группы однотипных мелких предприятий);

– устанавливаются ежегодные объемы энергосбережения для крупных компаний на 3–5 лет, а для мелких – на 1–2 года, исходя из объемов снижения энергопотребления в рамках страны и регионов;

– утверждается ежегодный лимит потребления энергии на основе регулируемых цен для каждой компании (предприятия);

– выставляется на энергорынок и продается по рыночной цене сэкономленный компанией (предприятием) объем электроэнергии.



Движение энергетических ресурсов в рамках энергорынка

Компания (предприятие), которая не уложилась в квоту, другими словами, превысила лимит, вынуждена будет покупать энергоресурсы по ценам, складывающимся на рынке, у энергосистемы страны или у других фирм по договорной цене.

Таким образом, формирование полноценного рынка энергетических ресурсов позволит, с одной стороны, предлагать предприятиям на рынке электроэнергию, полученную силами самого предприятия, либо сэкономленную, по сравнению с лимитами, а с другой стороны, ограничит действия монополии централизованной энергосистемы и электрических сетей. Тем самым, будут созданы предпосылки для вовлечения в оборот вторичных энергетических ресурсов и сформированы условия для снижения цен на энергоресурсы [9].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шаниро С. А. Основы трудовой мотивации. М. : КНОРУС, 2016. 268 с.
2. Новак А. Новости энергоэффективности и энергосбережения // ЭнергоРынок. 2017. № 2 (147). С. 121–124.

3. Плотников А. Н., Заикин А. И. Основные формы стимулирования инновационной деятельности в целях эффективной реализации стратегии энергосбережения // *Вопр. электротехнологии*. 2014. № 1(2). С. 66–71.

4. Плотников А. Н., Заикин А. Г. Участие партнеров в реализации программы инновационной стратегии повышения энергоэффективности предприятия // *Логистика и экономика ресурсосбережения в промышленности : сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практ. конф., 19–20 ноября 2014 г. Саратов : Сарат. гос. тех. ун-т им. Гагарина Ю. А.* 2014. С. 93–97.

5. Плотников А. Н., Плотников Д. А., Заикин А. Г. Особенности разработки и внедрения энергосберегающего инновационного проекта // *Энергоэффективность, ресурсосбережение и природопользование в городском хозяйстве и строительстве : экономика и управление : материалы III Междунар. науч.-техн. конф., 20–25 мая 2016 г., Волгоград. Волгоград : Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. ВолгГАСУ, 2016. С. 561–570.*

6. Плотников А. Н., Плотников Д. А. Обзор инновационных технологий учета расхода и снижения потерь энергии на предприятии, направленных на повышение его энергоэффективности // *Актуальные проблемы экономики и менеджмента*. 2016. № 2 (10). С. 40–44.

7. Плотников А. Н., Плотников Д. А. Особенности формирования инновационной стратегии повышения энергоэффективности предприятия // *Атояновские чтения : альманах*. Саратов : Изд-во КУБиК, 2016. С. 205–210.

8. Плотников А. Н., Плотников Д. А., Заикин А. Г., Сергазиева Т. Р. Стратегия ресурсосбережения предприятия // *Инновационная деятельность*. 2016. № 4 (39) С. 51–57.

9. Шурупов В. Электроэнергетика. Рынок мощности // *ЭнергоРынок*. 2017. № 1 (146). С. 87–89.

УДК 336.645

ИНВЕСТИЦИОННЫЙ ПОРТФЕЛЬ АКЦИЙ ИИНОВАЦИОННЫХ КОМПАНИЙ, СФОРМИРОВАННЫЙ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ МАРКОВИЦА

А. Д. Шаталова

Финансовый университет при правительстве Российской Федерации
Россия, 125993, Москва, Ленинградский проспект, 49
E-mail: al.schatalowa@yandex.ru

В статье рассмотрена теория Марковица как способ формирования эффективного инвестиционного портфеля акций при заданном уровне доходности инновационной компании и минимальном риске.

Ключевые слова: теория Марковица, инвестиция, доходность, портфель, акция, риск, инновационная компания.

Investment Portfolio of Shares of Innovative Companies, Formed on the Basis of the Theory of Markowitz

A. D. Shatalova

The article considers the Markowitz theory as a way of forming an effective investment stock portfolio at a given level of profitability of an innovative company and minimum risk.

Key words: Markowitz theory, investment, profitability, portfolio, stock, risk, innovative company.

Портфель ценных бумаг необходимо оценивать с точки зрения уровня доходности и степени риска. При составлении портфеля, как правило, большая часть инвесторов стремится не только получить как можно больше прибыли, но и ориентируется на более низкий риск своих вложений, т. е. возникает проблема формирования портфеля.

До 1950-х гг. риск определяли лишь качественно – большинство инвесторов пользовалось обобщенной классификацией акций, которые разделялись на доходные, дешевые, растущие, консервативные и спекулятивные.

Работа Марковица «Выбор портфеля: эффективная диверсификация инвестиций» стала первой, где были представлены принципы составления портфеля, зависящие от риска и ожидаемой нормы прибыли. В 1952 г. эти труды были опубликованы в журнале [1], а в 1959 г. изданы отдельной книгой [2]. Марковиц предположил, что значения доходности ценных бумаг являются случайными величинами, которые распределены по нормальному закону. Следовательно, инвестор при формировании своего портфеля должен оценивать два параметра – ожидаемую доходность (*ожидаемое значение*) и меру риска (*стандартное отклонение*).

Математическое ожидание (другие названия – среднее, ожидаемое значение) случайной величины – это число, заменяющее возможные значения случайной величины при оценочных расчетах. Так можно говорить о средней доходности за неделю того или иного актива, среднем месячном объеме продаж и т. д. Ожидаемое значение $M(X)$ (или MX) случайной величины X можно трактовать как прогноз ее значения в планируемом наблюдении [3].

Ясно, что одного среднего значения не достаточно для характеристики случайной величины. Необходима еще мера разброса ее значений около среднего. Одной из таких мер является дисперсия. Дисперсия $D(X)$ определяется как средний квадрат отклонений значений случайной величины X от ее среднего значения MX [3], т. е.

$$D(X) = M(X - MX)^2.$$

При этом дисперсия имеет размерность, равную квадрату размерности случайной величины. Для того чтобы представить разброс в тех же единицах, что и сама случайная величина вводится другая характеристика разброса – *стандартное отклонение* $\sigma(X)$ [3]:

$$\sigma(X) = \sqrt{DX}.$$

Стандартное отклонение доходности актива за период интерпретируется как мера изменчивости (*волатильности*) ее котировок. В финансовом анализе стандартная ошибка (или дисперсия) используется в качестве меры ценового риска, т. е. риска, связанного с изменением цены актива. Действ-

вительно, чем выше стандартное отклонение, тем выше возможное отклонение доходности от ожидаемой и, следовательно, тем выше уровень неопределенности в ожиданиях инвестора [4].

При совместном рассмотрении двух случайных величин помимо их средних значений и дисперсий необходимо умение оценивать степень связи между ними. Степень линейной связи между случайными переменными R_1 и R_2 оценивается с помощью *ковариации* и *корреляции*. Ковариация определяется согласно формуле

$$\text{Cov}(R_1, R_2) = M((R_1 - m_1)(R_2 - m_2)),$$

где $m_1 = MX_1, m_2 = MX_2$.

Корреляция – это нормированная ковариация:

$$\text{Corr}(R_1, R_2) = \frac{\text{Cov}(R_1, R_2)}{\sigma(R_1)\sigma(R_2)}.$$

В отличие от ковариации корреляция не изменяется при переходе к другим единицам измерения и позволяет судить о степени устойчивости линейной связи.

Линейная связь между случайными переменными проявляется в том, что при возрастании одной случайной величина другая имеет тенденцию возрастать по линейному закону.

С каждым возможным портфелем Марковиц связывал две характеристики – ожидаемая доходность и риск. Невозможно максимизировать прибыль и в тоже время минимизировать риск. Можно лишь говорить о портфеле, например, минимального риска при заданном уровне ожидаемой доходности, или о портфеле максимальной доходности при заданном уровне риска и т. д. Портфели, удовлетворяющие такого рода условиям, называются эффективными.

Планирование портфеля начинается с выбора набора ценных бумаг A_1, A_2, \dots, A_n , из которых будут формироваться эффективные портфели. Далее предполагается, что задан горизонт планирования портфеля и известны ожидаемые доходности и ковариационная матрица выбранного набора ценных бумаг.

Случай Марковица характеризуется тем, что рассматриваются портфели, состоящие только из длинных позиций (короткие позиции исключаются из рассмотрения). Допустимые к рассмотрению портфели в этом случае являются чисто инвестиционными, сформированными за счет покупок ценных бумаг. Множество портфелей $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ в случае Марковица характеризуется условиями

$$\begin{aligned} x_1 + x_2 + \dots + x_n &= 1, \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n &\geq 0. \end{aligned}$$

Портфель минимального риска при заданном уровне доходности

Как правило, высокой доходности соответствуют большие риски возможных потерь. Риск можно существенно уменьшить за счет правильной диверсификации портфеля. Платой за это будет уменьшение доходности. Портфель минимального риска при заданном уровне доходности определяется как портфель, риск которого минимален среди всех портфелей, удовлетворяющий заданному лимиту на доходность. Определение такого портфеля предполагает задание приемлемого уровня доходности

$$m_g, m_{min} \leq m_g \leq m_{max},$$

и решение экстремальной задачи

$$D(x) \rightarrow \min \quad (1)$$

при следующих ограничениях:

$$\begin{aligned} m(x) &\geq m_g, \\ x_1 + x_2 + \dots + x_n &= 1, \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots x_n &\geq 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где m_g – уровень ожидаемой доходности.

Если задать нулевой уровень доходности $m_g = 0$, то в результате решения задач (1) и (2) получим портфель минимального риска с неотрицательной доходностью. Доходность такого портфеля прогнозируется с наименее возможной стандартной ошибкой (его изменчивость за рассматриваемый период минимальна). Если доходности выбранного актива неотрицательны $m_i \geq 0$, то ограничение на неотрицательность доходности можно не учитывать. В этом случае говорят о портфеле минимального риска. Риск такого портфеля обозначается через σ_{min} .

Оценка эффективных портфелей

Пусть портфель состоит из 3-х акций инновационных компаний: Технология лекарств, Агроплазма, Приводная техника. Период рассмотрения один год: 01.02.16–01.02.2017 г.

Найдем инвестиционный портфель минимального риска при заданной доходности 5%.

На первом этапе определим математическое ожидание доходности по каждой акции. Для этого найдем среднеарифметическое значение доходностей акций за весь исследуемый период. В результате получим ожидаемую доходность M по каждой акции (табл. 1). Далее с помощью функции в Excel СТАНДОТКЛОН найдем оценку риска, а именно стандартные отклонения σ каждой акции (см. табл. 1).

Таблица 1

Ожидаемая доходность и оценка риска акций

Наименование акции	M, %	σ , %
Технология лекарств	6,0	7,0
Агроплазма	3,5	5,5
Приводная техника	3,1	5,0

На третьем этапе необходимо найти ковариационную матрицу, для чего заходим в главное меню Excel → «Данные» → «Анализ данных» → «Ковариация». Указывая входной интервал (ежемесячные доходности акций) и выбирая «по столбцам» в опции «Групповые». Результаты ковариаций доходностей между собой приведены в табл. 2.

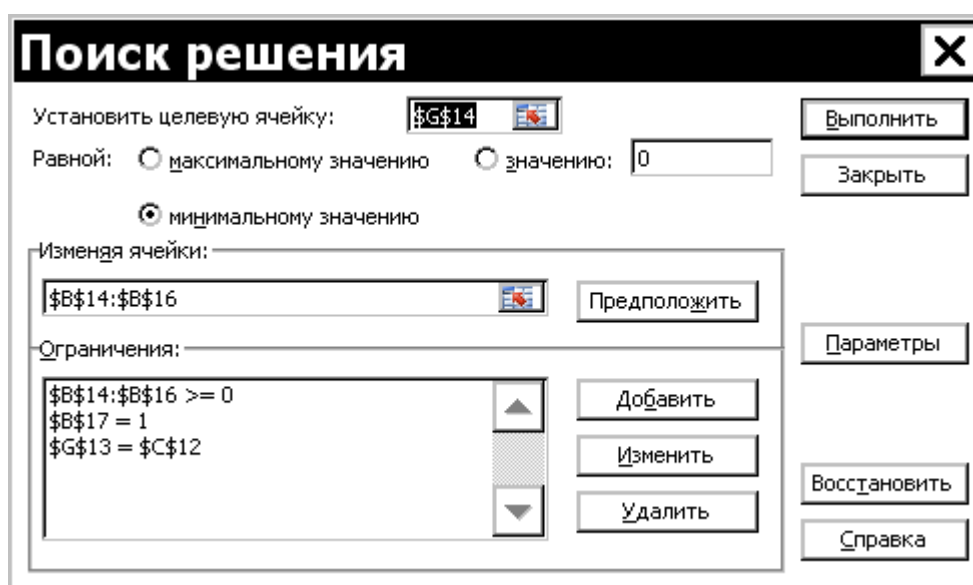
Таблица 2

Ковариационная матрица зависимостей акций

Компания	Технология лекарств	Агроплазма	Приводная техника
Технология лекарств	0,00490	-0,00116	-0,00175
Агроплазма	-0,00116	0,00303	0,00138
Приводная техника	-0,00175	0,00138	0,00250

Формирование инвестиционного портфеля с минимальным риском

Эффективный портфель определяется с помощью функции *поиск решения*. Окно «Поиск решения» открывается командами «Данные» → «Анализ» → «Поиск решения».



Окно «Поиск решения» в программе Excel

Поле «Установить целевую ячейку» служит для указания целевой ячейки, значение которой необходимо максимизировать или минимизировать или установить равным заданному числу. Эта ячейка должна содержать формулу. В рассматриваемом примере в этой ячейке вычисляется дисперсия портфеля.

Кнопка «Равной» определяет выбор варианта оптимизации значения целевой ячейки – максимизации, минимизации или подбора заданного числа. В нашем примере для минимизации дисперсии нажимается кнопка «минимальному значению».

Поле «Изменяя ячейки» используется для указания ячеек, значения которых изменяются в процессе поиска решения до тех пор, пока не будут найдены значения, совместимые с ограничениями задачи и оптимизирующие целевую ячейку (установленную в поле «Установить целевую ячейку»).

Поле «Ограничения» используется для отображения списка ограничений, которым подчинены переменные оптимизируемой функции. Первое ограничение означает, что компоненты портфеля должны быть неотрицательны. Второе – сумма компонент портфеля должна быть равна единице. Третье ограничение является ограничением на доходность портфеля – оно не должно быть ниже заданного, а именно, не ниже $m_g = 5\%$.

Для того чтобы найти математическое ожидание и дисперсию всего инвестиционного портфеля акций, необходимо воспользоваться такой функцией, как СУММПРОИЗВ. Получим следующие значения:

$$m(x) = 5\%,$$

$$D(x) = 0,0285.$$

Тогда $\sigma(x) = \sqrt{D(x)} = 0,1689$ или 16,89%.

Результаты решения задачи, а именно эффективный портфель заданной доходности $m_g = 5\%$, представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты решения задачи

Наименование акции	Доля акции в портфеле
Технология лекарств	0,51
Агроплазма	0,13
Приводная техника	0,36

Итак, в результате построения портфеля акций инновационных компаний при заданной доходности получили минимальный риск данного портфеля, равный 16,89%. Стоит заметить, что были рассмотрены компании, занимающиеся разработками в разных секторах промышленности – оборудование, фармацевтика, биотехнология. Поскольку такой выбор снижает рыночный риск.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Markowitz H. M.* Portfolio Selection // *J. of Finance*. 1952. Vol. 7. № 1. P. 71–91.
2. *Markowitz H. M.* Portfolio Selection: Efficient Diversification of Investment. N. Y. : John Wiley & Sons, 1970. 248 p.
3. *Галанов В. А.* Рынок ценных бумаг. М. : Финансы и статистика, 2006. 448 с.
4. *Керимов А. К.* Методы анализа и прогнозирования ценовых данных. М. : РУДН, 2003. 107 с.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

(публикация в открытом доступе)

1. Общие положения

1.1. Сборник научных трудов «Гетеромагнитная микроэлектроника» включен 01.12.2015 г. под № 1168 в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых рекомендуется публикация основных результатов диссертационных исследований на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

1.2. Сборник научных трудов «Гетеромагнитная микроэлектроника» выходит 4 раза в год – 2 раза в год в открытом и 2 раза в год в ограниченном доступе (спецвыпуски) и публикует материалы по группам научных специальностей:

- 01.04.00 «Физика»;
- 05.12.00 «Радиотехника и связь»;
- 05.13.00 «Информатика, вычислительная техника и управление»;
- 05.27.00 «Электроника»;
- 08.00.00 «Экономические науки».

1.3. Объем статьи не должен превышать 16 страниц (1 печатного листа).

1.4. Для публикации статьи автору необходимо представить в редакцию следующие материалы и документы (1 экз.):

- сопроводительное письмо;
- внешнюю рецензию;
- сведения об авторах: фамилии, имена и отчества (полностью), рабочий адрес, телефоны, e-mail;
- экспертное заключение;
- текст статьи на русском языке, подписанный авторами, а также название статьи, инициалы и фамилии авторов, аннотацию и ключевые слова на русском и английском языках.

2. Структура публикаций

2.1. Рукопись оформляется следующим образом :

- первая строка – индекс УДК, выровненный по левому краю текста;
- вторая строка – заголовок статьи прописными буквами (шрифт полужирный, по центру) без переносов;
- третья строка – перечень авторов (инициалы предшествуют фамилии), разделенный запятыми (шрифт полужирный, по центру);
- четвертая строка – полное официальное название организации (при нескольких организациях каждое наименование на отдельной строке, шрифт обычный, по центру);
- пятая строка – почтовый адрес (с индексом) организации (шрифт обычный, по центру);
- затем аннотация и ключевые слова на русском языке.

2.2. Далее приводится заглавие статьи, инициалы и фамилии авторов, аннотация и ключевые слова на английском языке.

2.3. Далее текст статьи и библиографический список на русском языке.

3. Требования к оформлению рукописи

3.1. Текст статьи должен быть напечатан через одинарный интервал на белой бумаге формата А4 с полями не менее 2,5 см, размер шрифта 14. Дополнительный материал набирается шрифтом 12 (аннотации, таблицы, сноски, примечания, приложения, подписи и надписи к рисункам, содержание, библиографический список, выходные данные, колонтитулы).

3.2. Все страницы рукописи, включая библиографический список, таблицы, рисунки, следует пронумеровать по центру внизу страницы.

3.3. Векторные величины выделяются полужирным шрифтом.

3.4. Каждая таблица должна быть пронумерована арабскими цифрами и иметь тематический заголовок, кратко раскрывающий ее содержание (выравнивание по левому краю таблицы. Например, Таблица 1. Требования к ...). Точка в конце заголовка не ставится. Единицы измерения указываются после запятой. Ссылка на таблицу должна предшествовать ей.

3.5. Формат рисунка должен обеспечивать ясность передачи всех деталей. Обозначения и все надписи на рисунках даются на русском языке; размерность величин указывается через запятую. Подрисовочная подпись должна быть самодостаточной без апелляции к тексту (например, Рис. 1. Зависимость ...). Подписи к рисункам не должны выходить за его границы. Точка в конце подрисовочной подписи не ставится. Ссылка на рисунок должна предшествовать ему.

3.6. Нумеровать следует наиболее важные формулы, на которые имеются ссылки в последующем тексте. Номер располагают по правому краю полосы по центру формулы.

3.7. Библиографический список оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 и открывается размещенным по центру заголовком. Все ссылки даются в квадратных скобках (например, [4]). Ссылки на неопубликованные работы не допускаются. Библиографическое описание оформляется следующим образом:

Образец описания книги:

1. *Игнатъев А. В., Ляшенко А. В.* Магнитоэлектроника СВЧ-, КВЧ-диапазонов в пленках ферритов. М. : Наука, 2005. 380 с.

Образец описания статьи в журнале:

2. *Игнатъев А. А., Страхова Л. Л., Овчинников С. В.* Профессиональная направленность современного курса физики для студентов-геофизиков классического университета // Физическое образование в вузах. 2002. № 2. С. 14–18.

3. *Poon H. C.* Modeling of bipolar transistor using integral charge control model with application to third-order distortion studies // IEEE Trans. 1972. Vol. ED-12, № 6. P. 719–731.

Образец описания статьи в сборнике:

4. *Игнатъев А. А., Ляшенко А. В., Солопов А. В.* О времени тепловой готовности феррит-транзисторного СВЧ-генератора на высоких уровнях мощности // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. докл. и ст. науч.-техн. совещ. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2004. Вып. 1 : Многофункциональные комплексированные устройства и системы СВЧ- и КВЧ-диапазонов. С. 139–151.

Образец краткого описания патентов:

5. Пат. 72788 Российская Федерация, МПК⁷ Н 01 L 43/08, Н 01 L 27/14, G 01 R 33/05, G 01 R 33/04. Устройство для измерения магнитного поля / заявители Игнатъев А. А., Куликов М. Н., Ляшенко А. В., Романченко Л. А., Солопов А. А. ; патентообладатель ОАО «НИИ-Тантал». – № 20700125198U ; заявл. 03.07.2007 ; опубл. 27.04.2008.

4. Требования к оформлению электронной версии

4.1. Текст рукописи должен быть представлен в виде одного файла на CD или по электронной почте в формате Microsoft Word 97/2000, шрифт Times New Roman, размер шрифта в соответствии с п.3.1, межстрочный интервал одинарный, величина отступа первой строки 1,25. Вся работа должна быть выполнена одной гарнитурой (Times New Roman).

4.2. Формулы набираются в редакторе формул Microsoft Equation 3,0, входящем в состав Microsoft Word. Греческие буквы должны набираться обычным шрифтом, латинские – курсивом. Запись химических элементов – обычным шрифтом. Векторы – полужирным шрифтом.

4.3. Диаграммы, графики и фотографии должны быть выполнены в черно-белом цвете.

Рукописи не возвращаются

Адрес : Россия, 410040, г. Саратов, пр. 50 лет Октября,110А, ОАО «Институт критических технологий»

Тел. : 8-(8452) 34-08-70

Факс : 8-(8452) 34-08-70

E-mail : kbkt@renet.ru

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

(публикация в ограниченном доступе)

1. Общие положения

1.5. Сборник научных трудов «Гетеромагнитная микроэлектроника» включен 01.12.2015 г. под № 1168 в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых рекомендуется публикация основных результатов диссертационных исследований на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

1.6. Сборник научных трудов «Гетеромагнитная микроэлектроника» выходит 4 раза в год – 2 раза в год в открытом и 2 раза в год в ограниченном доступе (спецвыпуски) и публикует материалы по группам научных специальностей:

- 01.04.00 «Физика»;
- 05.12.00 «Радиотехника и связь»;
- 05.13.00 «Информатика, вычислительная техника и управление»;
- 05.27.00 «Электроника»;
- 08.00.00 «Экономические науки».

1.7. Объем статьи не должен превышать 16 страниц (1 печатного листа).

1.8. Для публикации статьи автору необходимо представить в редакцию следующие материалы и документы (1 экз.):

- сопроводительное письмо;
- сведения об авторах: фамилии, имена и отчества (полностью), рабочий адрес, телефоны, e-mail организации;
- экспертное заключение о возможности открытого опубликования;
- текст статьи, подписанный авторами.

2. Структура публикаций

Рукопись оформляется следующим образом :

- первая строка – правый верхний угол: гриф секретности;
- вторая строка – правый верхний угол: номер пункта и наименование Перечня;
- третья строка – правый верхний угол: Экз. № ____;
- четвертая строка – индекс УДК, выровненный по левому краю текста;
- пятая строка – заголовок статьи прописными буквами (шрифт полужирный, по центру) без переносов;
- шестая строка – перечень авторов (инициалы предшествуют фамилии), разделенный запятыми (шрифт полужирный, по центру);
- седьмая строка – полное официальное название организации (при нескольких организациях каждое наименование на отдельной строке, шрифт обычный, по центру);
- восьмая строка – почтовый адрес (с индексом) организации (шрифт обычный, по центру);
- затем аннотация и ключевые слова на русском языке;
- далее текст статьи и библиографический список.

3. Требования к оформлению рукописи

3.8. Текст статьи должен быть напечатан через одинарный интервал на белой бумаге формата А4 с полями не менее 2,5 см, размер шрифта 14. Дополнительный материал набирается шрифтом 12 (аннотации, таблицы, сноски, примечания, приложения, подписи и надписи к рисункам, содержание, библиографический список, выходные данные, колонтитулы).

3.9. Все страницы рукописи, включая библиографический список, следует пронумеровать по центру внизу страницы.

3.10. Векторные величины выделяются полужирным шрифтом.

3.11. Каждая таблица должна быть пронумерована арабскими цифрами и иметь тематический заголовок, кратко раскрывающий ее содержание (выравнивание по левому краю таблицы. Например, Таблица 1. Требования к ...). Точка в конце заголовка не ставится. Единицы измерения указываются после запятой. Ссылка на таблицу должна предшествовать ей.

3.12. Формат рисунка должен обеспечивать ясность передачи всех деталей. Обозначения и все надписи на рисунках даются на русском языке; размерность величин указывается через запятую. Подрисуночная подпись должна быть самодостаточной без апелляции к тексту (например, Рис. 1. Зависимость ...). Подписи к рисункам не должны выходить за его границы. Точка в конце подрисуночной подписи не ставится. Ссылка на рисунок должна предшествовать ему.

3.13. Нумеровать следует наиболее важные формулы, на которые имеются ссылки в последующем тексте. Номер располагают по правому краю полосы по центру формулы.

3.14. Библиографический список оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 и открывается размещенным по центру заголовком. Все ссылки даются в квадратных скобках (например, [4]). Ссылки на неопубликованные работы не допускаются. Библиографическое описание оформляется следующим образом:

Образец описания книги:

6. *Игнатъев А. В., Ляшенко А. В.* Магнитоэлектроника СВЧ-, КВЧ-диапазонов в пленках ферритов. М. : Наука, 2005. 380 с.

Образец описания статьи в журнале:

7. *Игнатъев А. А., Страхова Л. Л., Овчинников С. В.* Профессиональная направленность современного курса физики для студентов-геофизиков классического университета // Физическое образование в вузах. 2002. № 2. С. 14–18.

8. *Roop H. C.* Modeling of bipolar transistor using integral charge control model with application to third-order distortion studies // IEEE Trans. 1972. Vol. ED-12, № 6. P. 719–731.

Образец описания статьи в сборнике:

9. *Игнатъев А. А., Ляшенко А. В., Солопов А. А.* О времени тепловой готовности феррит-транзисторного СВЧ-генератора на высоких уровнях мощности // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. докл. и ст. науч.-техн. совещ. Саратов : Изд-во Саратов. унта, 2004. Вып. 1 : Многофункциональные комплексированные устройства и системы СВЧ- и КВЧ-диапазонов. С. 139–151.

Образец краткого описания патентов:

10. Пат. 72788 Российская Федерация, МПК⁷ Н 01 L 43/08, Н 01 L 27/14, G 01 R 33/05, G 01 R 33/04. Устройство для измерения магнитного поля / заявители Игнатъев А. А., Куликов М. Н., Ляшенко А. В., Романченко Л. А., Солопов А. А. ; патентообладатель ОАО «НИИ-Тантал». – № 20700125198U ; заявл. 03.07.2007 ; опубл. 27.04.2008.

4. Требования к оформлению электронной версии

4.1. Текст рукописи должен быть представлен в виде одного файла на CD в формате Microsoft Word 97/2000, шрифт Times New Roman, размер шрифта в соответствии с п.3.1, межстрочный интервал одинарный, величина отступа первой строки 1,25. Вся работа должна быть выполнена одной гарнитурой (Times New Roman).

4.2. Формулы набираются в редакторе формул Microsoft Equation 3,0, входящем в состав Microsoft Word. Греческие буквы должны набираться обычным шрифтом, латинские – курсивом. Запись химических элементов – обычным шрифтом. Векторы – полужирным шрифтом.

4.3. Диаграммы, графики и фотографии должны быть выполнены в черно-белом цвете.

Рукописи не возвращаются

ПРАВИЛА ПУБЛИКАЦИИ
в Центре специальной информации
ОАО «Институт критических технологий»

ОАО «Институт критических технологий» принимает от авторов для публикации в спецвыпусках статьи и обзоры, монографии по следующей тематике: гетеромагнитная микро- и нанoeлектроника, нанотехнология, схемотехника, аналого-цифровые системы на кристалле, САПР, системы защиты информации, радиоэлектроника, СВЧ- и КВЧ-приборы для военной и специальной техники.

Документы направляются в ОАО «Институт критических технологий» на имя генерального директора-генерального конструктора А. В. Ляшенко по адресу:

Россия, 410040, г. Саратов, пр. 50 лет Октября, 110А.

Тел.: 8(8452) 63-28-20, 8(8452) 34-08-70

Факс: 8(8452) 48-11-83, 8(8452) 34-08-70

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Теоретические и экспериментальные исследования, компьютерные технологии	
<i>Байбурин В. Б., Губенков А. А., Сивожелезов М. С.</i> Обнаружение уязвимостей в программном обеспечении методом фаззинга	4
<i>Кудрявцева С. П.</i> Оценка влияния толщины намагниченного носителя информации на величину поверхностной магнитной индукции	7
<i>Байбурин В. Б., Губенков А. А., Ляшенко А. В.</i> Анализ алгоритмов генерации пин-кодов протокола WPS	12
<i>Шаповалов А. С.</i> Спектры флуктуаций сигнала многодиодного генератора СВЧ	16
<i>Байбурин В. Б., Розов А. С., Ляшенко А. В.</i> Параметрическая генерация высокочастотных колебаний с учетом полей пространственного заряда и статического потенциала	26
<i>Игнатъев А. А., Кудрявцева С. П., Романченко Л. А.</i> Устройства для магнитной навигации (обзор патентов)	32
<i>Страхова Л. Л., Сотов Л. С., Хвалин А. Л.</i> Устройства для манипуляции битами данных вычислительной техники	36
<i>Евлушина В. А., Сотов Л. С.</i> Система для мониторинга местоположения подвижных объектов в условиях ограниченной сотовой связи	48
<i>Медведев Б. А., Дронкин А. С., Жусубалиева С. Ж.</i> Проблематика применения квантово-механического подхода и методов теории колебаний к описанию комплексов из магнитосом и филаментов цитоскелета	55
Методические аспекты физического образования	
<i>Романченко Л. А., Кудрявцева С. П.</i> Общепрофессиональные компетенции при обучении по программе магистратуры «Магнитоэлектроника в системах защиты информации и безопасности»	67
<i>Игнатъев А. А., Романченко Л. А.</i> Профессиональные компетенции при обучении по программе магистратуры «Магнитоэлектроника в системах защиты информации и безопасности»	71
<i>Романченко Л. А., Игнатъев А. А.</i> Некоторые аспекты государственной итоговой аттестации по программе прикладной магистратуры «Магнитоэлектроника в системах защиты информации и безопасности»	74
Экономика в промышленности	
<i>Плотников А. Н., Плотников Д. А.</i> Формирование механизма энергосбережения и повышения энергоэффективности на предприятии	79
<i>Шаталова А. Д.</i> Инвестиционный портфель акций инновационных компаний, сформированный на основе теории Марковица	82
Правила для авторов (публикация в открытом доступе)	89
Правила для авторов (публикация в ограниченном доступе)	92
Правила публикации в Центре специальной информации ОАО «Институт критических технологий»	94

Подписка на 2018 г.

Индекс издания по объединенному каталогу «Пресса России» 29005,
Интернет-каталог Агентства «Книга-Сервис»,
раздел 24 «Компьютеры. Информатика. Программные продукты»,
раздел 30 «Научно-технические издания. Известия РАН. Известия вузов».
Сборник выходит 4 раза в год – 2 раза в год в открытом и 2 раза в год в ограниченном
доступе (спецвыпуски).

Научное издание

ГЕТЕРОМАГНИТНАЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКА

Сборник научных трудов

Выпуск 22

**Теоретические и экспериментальные исследования,
компьютерные технологии.
Методические аспекты физического образования.
Экономика в промышленности**

Под редакцией профессора *А. В. Ляшенко*

Редактор *О. Г. Данке*
Редактор английского текста *Е. А. Игнатьева*
Технический редактор *Т. Н. Сиротинина*
Оригинал-макет подготовили *О. Г. Данке, Т. Н. Сиротинина*

Свидетельство о регистрации средства массовой информации
ПИ № ФС77-35636 от 17.03.2009.

Подписано в печать 20.06.2017. Формат 60×84 1/16.
Усл. печ. л. 5,58 (6,0). Тираж 50. Заказ 1/17.

Издательство ОАО «Институт критических технологий».
410040, Саратов, пр. 50 лет Октября, 110А
Типография ИП Волков В. В. 410056, Саратов, Рабочая, 105