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 24

**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»

2018

УДК 621.382.029.6

ББК 548.537.611.44

Г44

|  |  |
| --- | --- |
| Г44 | **Гетеромагнитная микроэлектроника** : сборник научных трудов / под ред. проф. А. В. Ляшенко. – Саратов : Изд-во ОАО «Институт критических технологий», 2018. – Вып. 24 : Теоретические и экспериментальные исследования. Компьютерные технологии. Методические аспекты физического образования. Экономика в промышленности. – 96 с. : ил. |

В настоящем выпуске сборника 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 областях 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»)

*Работа издана в авторской редакции*

УДК 621.382.029.6

ББК 548.537.611.44

|  |  |
| --- | --- |
| **ISSN 1810-9594** | © ПАО «Тантал», 2018  © ОАО «Институт критических  технологий», 2018 |

**Предисловие**

В письме Минобанауки России от 26.02.2018 ответственным редакторам изданий, входящих в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, было предложено сократить число научных специальностей до трех. В связи с этим в сборнике «Гетеромагнитная микроэлектроника» будут публиковаться материалы по следующим группам научных специальностей и соответствующим им отраслям науки, по которым присуждаются ученые степени:

* 01.04.00 Физика (01.04.03 Радиофизика);
* 05.13.00 Информатика, вычислительная техника и управление (05.13.05 Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления);
* 08.00.00 Экономические науки (08.00.05 Экономика и управление народным хозяйством).

В настоящий выпуск сборника включены материалы:

* о способах построения формирователей хаотических последовательностей, о летных испытаниях магнито-инерциального модуля, модуляционных спектрах флуктуаций сигнала многодиодного генератора СВЧ, а также обзор патентов по геомагнитным автономным навигационным системам (раздел «Теоретические и экспериментальные исследования, компьютерные технологии»);
* о методах определения коэффициента поверхностного натяжения жидкости (раздел «Методические аспекты физического образования»);
* о состоянии и перспективах развития инновационной деятельности в Саратовской области, об инновационных подходах к использованию энергоресурсов на предприятии (раздел «Экономика в промышленности»).

В 2018 г. исполнилось 140 лет со дня рождения Зёрнова Владимира Дмитриевича – профессора, основателя физико-математического образования в Саратовском университете (ныне Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского), первого заведующего кафедрой физики, первого декана физико-математического факультета, ректора университета. Искренняя признательность и уважение благодарных потомков отражены в статье, посвященной его памяти.

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

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ,**

**КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

УДК 621.373.54, 517.9

**СПОСОБ ПОСТРОЕНИЯ ФОРМИРОВАТЕЛЕЙ**

**ХАОТИЧЕСКИХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ**

**В. С. Чесаков**, **Л. С. Сотов**

Саратовский национальный исследовательский

государственный университет имени Н. Г. Чернышевского

Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83

E-mail: kof@info.sgu.ru

В работе предложен способ создания формирователей случайных сигналов на базе последовательной логики. Получено и проанализировано общее модельное отображение, описывающее поведение формирователя. Особенности предложенного решения – равномерная функция распределения генерируемой двоичной последовательности и реализуемость на стандартной цифровой элементной базе.

*Ключевые слова*: формирователь случайных сигналов, динамический хаос, дискретное отображение, распределение вероятностей.

**New Approach to Implement Chaotic Sequences Generators**

**V. S. Chesakov**, **L. S. Sotov**

A New Approach to Implement Chaotic Sequences Generators is offered. The general model display describing behavior of the generator is received and analysed. Feature of the proposed solution is uniform function of distribution of the generated binary sequences and feasibility on standard sequential logic.

*Key words*: chaotic signal generator, dynamic chaos, discrete map, probability distribution.

Генераторам хаотических колебаний посвящено много исследований, среди которых особую практическую значимость имеют результаты, позволяющие создать цифровые формирователи случайных сигналов (ФСС) в микроэлектронном исполнении с равномерной функцией распределения вероятностей формируемой последовательности [1, 2]. Такие формирователи технологичны, имеют низкую себестоимость и высокую надежность. Цифровые технологии обработки сигналов позволяют использовать различные встроенные системы контроля режима функционирования ФСС [3, 4], что существенно повышает их надежность. Также ФСС являются основой специализированных формирователей случайных последовательностей, описанных, например, в работах [5, 6].

Для систем информационной безопасности обычно требуются ФСС с равномерным распределением вероятностей выходной последовательности [7–9]. При этом большинство существующих генераторов хаоса формируют сигналы, распределенные неравномерно, и для изменения функции распределения требуется процедура преобразования выходного сигнала генератора, связанная, например, с перестановками битов последовательности, которые могут выполняться программно [10] или аппаратно [11–13], что усложняет схему устройства и снижает производительность при использовании устройств с последовательной обработкой битов данных [14]. Для ускорения выполнения программного преобразования используются специальные инструкции манипуляций битами данных микропроцессора [15, 16]. Таким образом, изначально предпочтителен ФСС с равномерной функцией распределения выходного сигнала.

В данной статье предлагается методика создания ФСС и алгоритм его работы c использованием последовательной логики, моделируемый кусочно-линейным отображением. Отличительной особенностью предложенного решения является простота и возможность реализации в виде встроенной системы на кристалле.

*Методика построения и модельное отображение ФСС*

Основным элементом предлагаемого ФСС является цифровое устройство, при поступлении тактовых импульсов перечисляющее свои состояния *Xk*,*i*, где *k*∈{1, 2, …, *L*} – номер устройства, *i*∈{1, 2, …, *M*} – номер состояния. Таким устройством может быть двоичный счетчик, формирователь псевдослучайной последовательности (ПСП), перечислитель перестановок [17, 18] и т. п. Каждое состояние устройства перечисления представим в виде его порядкового номера, т. е. целого числа в диапазоне от 1 до *M*, таким образом *Xk*,1∈{1, 2, …, *M*}.

Будем считать *Xk*,1 начальным состоянием устройства с номером *k*. Тогда длительность процесса пересчета из состояния *Xk,i* в начальное состояние *Xk*,1 составит

|  |  |
| --- | --- |
| *Tk*,*i* = (*M* – *Xk*,*i*)/*f*, | (1) |

где *f* – частота тактового генератора.

Пусть текущие состояния устройств пересчета *X*1,*n*, *X*2,*n*, …, *XL*,*n*, где *n*– порядковый номер состояния устройства последовательного пересчета. Тогда, учитывая (1), суммарная длительность процесса последовательного пересчета из этого состояния в начальное составит

|  |  |
| --- | --- |
| *Tn* = (*M* – *X*1,*n*)/*f*11 + (*M* – *X*2,*n*)/*f*12 + … + (*M* – *XL*,*n*)/*f*1*L*, | (2) |

где *f*11, *f*12, …, *f*1*L* – частоты тактовых генераторов, подключенных к соответствующему устройству пересчета.

Введем безразмерное время *τ* *=* *t*∙*fg*, где *fg* – частота базового тактового генератора. Тогда из (2) следует:

|  |  |
| --- | --- |
| τ*n* = (*M* – *X*1,*n*) *fg*/*f*11 + (*M* – *X*2,*n*) *fg*/*f*12 + … + (*M* – *XL*,*n*) *fg*/*f*1*L*. | (3) |

Если тактовые импульсы с частотой *fg* подать на одно из устройств перечисления состояний с индексом *k*, то за время *τn* это устройство из начального состояния *Xk*,1 перейдет в состояние *Xk*,*n+*1. Тогда

|  |  |
| --- | --- |
| *Xk*,*n*+1 = ((*M* – *X*1,*n*) *fg*/*f*11 + (*M* – *X*2,*n*) *fg*/*f*12 + … + (*M* – *XL*,*n*) *fg*/*f*1*L*)⋅mod(*M*)). | (4) |

Для *L* устройств пересчета уравнения (4) можно записать в матричном виде:

|  |  |
| --- | --- |
| . | (5) |

Модельное отображение (5) имеет вид:

* для *L* = 1

|  |  |
| --- | --- |
| ; | (6) |

* для *L* = 2

|  |  |
| --- | --- |
| . | (7) |

Это отображение исследовалось в работах [19, 20]. В работе [21] сформулированы условия безопасности ФСС в системах информационной безопасности. При использовании ФСС должны быть вычислительно неразрешимы задачи уточнения его состояния путем анализа временной эволюции сигнала. Это условие выполняется при локальной неустойчивости фазовых траекторий в фазовом пространстве ФСС. Такая неустойчивость достигается, если собственное значение матрицы λ*s* линеаризованного отображения (5) с наибольшей действительной частью Re(λ*s*) > 1. Если начальное возмущение возрастает для любого *n*, то ФСС безопасен для анализа в прямом времени по любому участку фазовой траектории, поскольку при попытках моделировать динамику формирователя погрешность определения его состояния будет возрастать. Условием безопасности ФСС является Re(λ*s*) > 1 для любого *Xn*. В этом случае отображение (5) является гиперболическим.

Для проверки условия безопасности ФСС проведем линейный анализ отображения (5) для *L* = 2. Линеаризуя (7), получим выражение для малых отклонений δ*k*, δ*m* модельного отображения

|  |  |
| --- | --- |
| . | (8) |

Характеристическое уравнение системы (8) для *L* = 2 имеет вид:

|  |  |
| --- | --- |
| . | (9) |

Условие гиперболичности преобразования (5) в прямом времени

|  |  |
| --- | --- |
| ,  . | (10) |

В работе [21] было показано, что для безопасности использования ФСС необходима также гиперболичность в обратном времени. Условие гиперболичности преобразования в обратном времени имеет вид:

|  |  |
| --- | --- |
| ,  . | (11) |

Заметим, что условия (10) и (11) также справедливы для формирователей, описанных в [22].

В общем случае устройство, описываемое модельным отображением (5), можно реализовать только на цифровых элементах, используя в качестве формирователей тактовых импульсов быстродействующие автогенераторы, частота колебаний которых определяется инерционными свойствами используемых логических элементов.

Таким образом, предлагаемая методика обеспечивает создание цифровых устройств, формирующих хаотическую последовательность импульсов случайной длительности.

Представляет интерес численное исследование функции распределения вероятностей генерируемой последовательности случайных чисел. Для этого в среде *System Studio* [23] была разработана имитационная модель ФСС, описываемая отображением (7), в которой в качестве устройств, перечисляющих свои состояния, использовались двоичные счетчики и генераторы псевдослучайной последовательности на сдвиговых регистрах (*LFSR*). Для анализа функции распределения случайных чисел, формируемых на ФСС, использовался критерий согласия Пирсона (χ2-критерий) [24].

Все полученные выборки случайных величин удовлетворяли условиям равномерности распределения при рекомендованной величине уровня значимости критерия α = 0,01.

Таким образом, предложенная в статье универсальная методика позволяет разрабатывать формирователи импульсов случайной длительности с использованием только стандартных цифровых логических элементов. Формирователи, построенные по этой методике просты, не требуют наладки и могут быть встроены в проектируемые системы на кристалле или ПЛИС (программируемая логическая интегральная схема). Кроме этого:

* проанализирована зависимость характера динамики предлагаемого ФСС от частот тактовых генераторов;
* найдены соотношения рабочих значений частот генераторов для возникновения хаоса в исследуемой системе.

Сравнение предлагаемых ФСС на счетчиках и сдвиговых регистрах показало, что в обоих случаях формируемая выборка чисел остается распределенной равномерно.

# БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 2340931 Российская Федерация, МПК G06F 7/58. Генератор случайных чисел / заявители Молодченко Ж. А., Сотов Л. С., Харин В. Н ; патентообладатель ГОУ ВПО «Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского». – № 2007111405/09 ; заявл. 28.03.2007 ; опубл. 10.12.2008.
2. Пат. 2408059 Российская Федерация, МПК G06F 7/58. Генератор импульсов случайной длительности / заявители Сотов Л. С., Харин В. Н., Хвалин А. Л. ; патентообладатель ГОУ ВПО «Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского». – № 2009104553/08 ; заявл. 12.02.2009 ; опубл. 20.08.2010.
3. *Сотов Л. С*., *Харин В. Н*., *Хвалин А. Л*. Встроенные средства контроля генераторов случайных сигналов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2010. № 7. С. 30–33.
4. *Сотов Л. С*., *Харин В. Н*., *Хвалин А. Л*. Детекторы режимов функционирования генераторов случайных сигналов // Автоматика и телемеханика. 2010. № 5. С. 166–170.
5. Пат. 2395834 Российская Федерация, МПК G06F 7/58. Генератор случайныхперестановок */* заявители Сотов Л. С., Харин В. Н., Хвалин А. Л. ; патентообладатель ГОУ ВПО «Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского». – № 2009104555/09 ; заял. 12.02.2009 ; опубл. 27.07.2010.
6. *Ляшенко А. В*., *Сотов Л. С.* Стохастические генераторы упорядоченных разбиений конечных множеств с быстрым ростом энтропии // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2010. Вып. 8 : Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Системы информационной безопасности. Прикладные аспекты. С. 57–72.
7. *Молодченко Ж. А*., *Сотов Л. С*., *Харин В. Н*. Модуль генерации форматирующих сред в распределенных реляционных СУБД // Надежность и качество : тр. междунар. симпоз. 2006. Т. 1. С. 179–182.
8. *Молодченко Ж. А*., *Сотов Л. С*., *Харин В. Н*. Модуль сервера форматирования в распределенных реляционных СУБД с повышенным уровнем ИБ // Надежность и качество : тр. междунар. симпозиума. 2006. Т. 1. С. 182–184.
9. *Молодченко Ж. А*., *Сотов Л. С*., *Харин В. Н*. О формировании доверенной среды серверных систем управления базами данных // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2008. № 3. С. 23–27.
10. *Молодченко Ж. А*., *Харин В. Н*., *Сотов Л. С*. Алгоритм создания диверсификационного метода битовых преобразований // Естественные и технические науки. 2007. № 6 (32). С. 222–225.
11. *Молодченко Ж. А*., *Сотов Л. С*., *Харин В. Н*. Математические модели транспозиционных преобразований // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2007. Т. 5, № 12. С. 58–60.
12. *Сотов Л. С*., *Соболев С. С*., *Харин В. Н*. Кросс-кластерная коммутационная матрица для аппаратной поддержки управляемой перестановки данных в криптографических системах // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2009. № 4. С. 56–63.
13. *Молодченко Ж. А*., *Харин В. Н*., *Овчинников С. В*., *Сотов Л. С*. Модели аппаратных акселераторов перестановок бинарных множеств // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2008. Вып. 4 : Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Системы информационной безопасности. Прикладные аспекты. С. 11–23.
14. Пат. 2320000 Российская Федерация, МПК G06F 7/76. Дешифратор управляемой побитовой транспозиции информации, хранимой в персональной ЭВМ / заявители Молодченко Ж. А., Сотов Л. С., Харин В. Н. ; патентообладатель ГОУ ВПО «Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского». – № 2007105175/09 ; заявл. 13.02.2007 ; опубл. 20.03.2008.
15. *Сотов Л. С*. Об эффективности использования специальных команд преобразования форматов данных в вычислительной технике // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2011. Вып. 10 : Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Прикладные аспекты. Экономика. Методические аспекты физического образования. С. 61–80.
16. *Сотов Л. С*., *Ачкасов В.* *Н*. Универсальный модуль манипуляции битами данных в микропроцессорах // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2011. Вып. 11 : Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Прикладные аспекты. Экономика. Методические аспекты физического образования. С. 57–73.
17. *Молодченко Ж. А*., *Сотов Л. С*., *Харин В. Н*. Модели аппаратных функциональных формирователей перестановок // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2009. Т. 7, № 10. С. 78–84.
18. *Соболев С. С*., *Харин В. Н*., *Сотов Л. С*. Модели устройств кросс-кластерных перестановок данных в ЭВМ // Вестн. компьютерных и информационных технологий. 2009. № 12. С. 51–55.
19. *Воронков О. В*., *Мещанов В. П*., *Сотов Л. С*., *Хвалин А. Л*. Генератор истинно случайных чисел на основе двумерного кусочно-линейного отображения с хаотической динамикой // Нелинейный мир. 2014. Т. 12, № 12. С. 64–65.
20. *Хвалин А. Л*., *Сотов Л. С*., *Россошанский А. В*. Цифровой формирователь случайных сигналов на базе сдвиговых регистров // Радиотехника. 2014. № 10. С. 68–73.
21. *Сотов Л. С*., *Харин* *В*. *Н*. Использование генераторов динамического хаоса в системах информационной безопасности // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2009. № 2. С. 32–37.
22. *Сотов Л. С*., *Харин В. Н*. Цифровой генератор подкачки энтропии на базе отображения Арнольда // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2009. Т. 17, № 6. С. 57–66.
23. *Сотов Л. С.*, *Хвалин А. Л*. Средства разработки и исследования архитектурных моделей в САПР System Studio. Часть 1 : Использование инструментов System Studio при моделировании матричного генератора перестановок // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2008. Вып. 5 : Прикладные аспекты микро- и наноэлектроники. С. 121–145.
24. *Айвазян С. А*. Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных. М. : Финансы и статистика, 1983. 470 с.

УДК 629.7; 681.584.311

**К ВОПРОСУ О ЛЕТНЫХ ИСПЫТАНИЯХ**

**МАГНИТО-ИНЕРЦИАЛЬНОГО МОДУЛЯ**

**Г. Н. Румянцев**, **А. А. Игнатьев**\*, **Г. М. Проскуряков**\*\*

НПЦ автоматики и приборостроения имени академика Н. А. Пилюгина

Россия, 117342, Москва, Введенского, 1

E-mail: info@npcap.ru

\*Саратовский национальный исследовательский

государственный университет имени Н. Г. Чернышевского

Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83

E-mail: kof@sgu.ru

\*\*ОАО «Институт критических технологий»

Россия, 410040, Саратов, 50 лет Октября, 110А

E-mail: kbkt@renet.ru

Рассмотрены вопросы разработки, организации и проведения летных испытаний магнито-инерциального модуля, выполняющего функции бесплатформенной аналитической системы автономной ориентации и навигации подвижных объектов. Предложена методика полунатурных испытаний, реализуемая с помощью трехэтапной (трехуровневой) технологии.

*Ключевые слова*: магнито-инерциальный модуль, магнитометрия, магнито-инерциальная информация, инструментальная калибровка, объектовая калибровка, летные испытания, телеметрия, постобработка информации, автономная ориентация и навигация.

**About Flight Tests of Magneto-Inertial Module**

**G. N. Rumyantsev**, **A. A. Ignatyev**, **G. M. Proskuryakov**

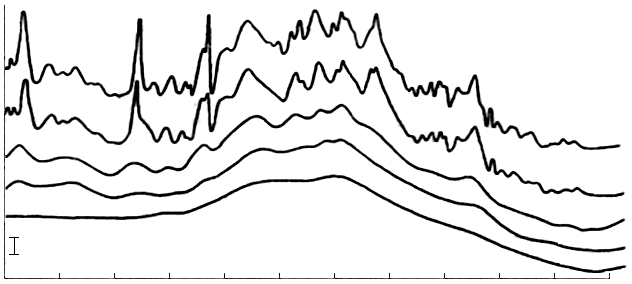
The article deals with the development, organization and conduct of flight tests of the magnetic inertial module that performs the functions of a strap down analytical system of Autonomous orientation and navigation of mobile objects. The technique of semi-natural tests realized by means of three-stage (three-level) technologies is offered.

*Key words*: magneto-inertial module, magnetometry, magneto-inertial information, tool calibration, facility calibration, flight testing, telemetry, post-processing information, the autonomous orientation and navigation.

В начале XXI столетия со стороны специалистов в области управления различными подвижными объектами усиливается внимание к вопросам использования магнитометрической информации для решения разнообразных задач геологоразведки и геофизики, поиска и обнаружения ферромагнитных тел с борта подвижного основания, автономной ориентации, навигации и наведения подвижных объектов и др. [1–8]. Это обусловлено тем, что магнитометрический канал измерений является автономным, достаточно высоко информативным и содержащим разнообразную информацию о глобальных, региональных и локальных магнитных аномалиях естественного и техногенного происхождения, а также о координатах местоположения объекта и других параметрах его пространственного состояния [3–8].

В настоящее время информационные свойства магнитометрического канала измерений используются далеко не в полной мере. Кроме того выяснилось, что на работу магнитометрического канала измерений существенное влияние оказывают многообразные дестабилизирующие факторы (методические, инструментальные, технологические, эксплуатационные и др.) [9–13]. Для их компенсации разработаны разнообразные технологические (метрологические, геометрические, температурные, режимные) и объектовые калибровки [14, 15].

Однако многие дестабилизирующие факторы носят внешний (к тому же случайный) характер, что не дает возможности предварительного проведения каких-либо калибровок и настроек магнитометров. Примером тому может служить дестабилизирующий фактор, связанный с вредным влиянием на показания магнитометров региональных и локальных магнитных аномалий (ЛМА) естественного (рис. 1) и техногенного (табл. 1) характера [3].



200 нТл

0

5

10

15

20

25

30

35

40

45

Маршрут, км

*B*, нТл

*1*

*2*

*3*

*4*

*5*

Рис. 1. Изменение аномального магнитного поля Земли по маршруту длиной 65 км по результатам измерений на высоте *h* от поверхности: *1* – 50 м; *2* – 100 м; *3* – 500 м; *4* – 1000 м; *5* – 2000 м

*Таблица* *1*

**Влияние локальных магнитных аномалий на показания блока магнитометров**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Объект | | При пороге чувствительности  магнитометра ∆*В*,нТл | | |
| Наименование | Параметр | 0,5 | 0,1 | 0,01 |
| максимальная  дальность, м | предельная  дальность, м | |
| Судно массой | 1000 т | 315 | 540 | 1200 |
| Танк массой | 30 т | 60 | 150 | 350 |
| Легковой автомобиль | 1 т | 27 | 46 | 101 |
| Легкий самолет  (типа Як-12, Як-52) | – | 22 | 30 | 66 |
| Винтовка | – | 8 | 14 | 30 |
| Пистолет | сталь | 5 | 8 | 18 |
| Трубопровод | диаметр 150 мм,  толщина стенки 6 мм | 30 | 69 | 152 |
| Трубопровод | диаметр 1600 мм,  толщина стенки 10 мм | 90 | 205 | 451 |

Влияние дестабилизирующих факторов на показания блока магнитометров подтвердили натурные испытания в лабораторных и полигонных условиях, проведенные с использованием двух макетов магнито-инерциальных модулей (МИМ) (МИМ-1 и МИМ-2 разработаны в ОАО «Институт критических технологий», г. Саратов), блок-схема которых представлена на рис. 2: **Т**МПЗ, **Т**МПО,**g***q*, **n**, **Ω***q*, τ1, τ2, τ3, *p* – входные сигналы; *Тх*, *Ту*, *Тz*, *gx*, *gy*, *gz*, Ω*x*, Ω*y*, Ω*z*, *r*1, *r*2, *r*3, *h* – выходные сигналы блоков; Ψ, ϑ, γ – углы курса, тангажа и крена; **Т**МПЗ, **Т**МПО – векторы напряженности магнитных полей Земли (МПЗ) и объекта (МПО); **g***q* (вектор ускорения свободно падающего тела) и **Ω***q* (вектор угловой скорости собственного вращения Земли), заданные в осях географического трехгранника *q* = *NHE* (*N* и *E* – направления на географические север и восток, *H –* направление вертикали); **n** – вектор кажущегося ускорения.

Для исследования влияния дестабилизирующих факторов на работу всех блоков модуля необходимо проведение *летных испытаний* (ЛИ) макетов МИМ на различных высотах (*h* = var) и на разных носителях (беспилотных летательных аппаратах (БЛА), самолетах, вертолетах и баллистических ракетах (БР)). В связи с этим требуется разработка общей методики и технологии проведения ЛИ с учетом особенностей и ограничений конкретно для каждого типа подвижного объекта (ПО).

Аналогово-цифровые

преобразователи

Трехосный блок

магнитометров

Измерительная

часть

Вычислительная часть

Алгоритмы

навигации

Алгоритмы

ориентации

Алгоритмы

коррекции

системы ориентации

Алгоритмы

коррекции

системы навигации

Алгоритмы

резервно-аварийных режимов (РАР)

работы системы



Сигналы ориентации и навигации

Сигналы коррекции

Сигналы РАР

Микроконтроллер

*1*

*2*

*3*

*4*

*5*

*6*

*7*

*8*

*9*

*10*

*12*

*11*

*13*

*15*

*14*

*16*

*18*

*17*



Трехосный блок

акселерометров

Трехосный блок

гиро-

скопов

Устройство ввода информации

Рис. 2. Блок-схема магнито-инерциального модуля: *1* – ; *2* – ; *3* – ; *4* – ; *5* – ; *6* – ; *7* – ; *8* – ; *9* – ; *10* – ; *11* – ; *12* – ; *13* – ; *14* – ; *15* – ; *16* – ; *17* – ; *18* – 

Наиболее эффективной и простой для практической реализации следует признать *трехэтапную* (трехуровневую) *методику* проведения ЛИ, заключающуюся в том, что процессы формирования информации при измерениях и ее обработки разделены между собой в пространстве и во времени (табл. 2).

*Таблица* *2*

**Этапы проведения летных испытаний МИМ**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Операция | Обозначение | Содержание |
| **Этап 1: подготовка к ЛИ** | | |
| 1. Метрологическая калибровка | МК | В лабораторных или производственных условиях определяют параметры метрологических и температурных характеристик МИМ, а также погрешности сборки блоков модуля |
| 1. Температурная калибровка | ТК |
| 1. Геометрическая калибровка | ГК |
| 1. Автономная начальная   выставка | АНВ | В предстартовых условиях определяют параметры магнитного поля Земли и углы начальной ориентации ПО с установленным на нем МИМ |
| 1. Объектовая калибровка | ОК | В предстартовых условиях определяют начальные параметры магнитного поля объекта и углы монтажа модуля |
| **Этап 2: измерения в процессе ЛИ** | | |
| 1. Формирование информации на борту ПО | ФИ | Опрос датчиков МИМ и навигационных систем |
| 1. Сброс информации | СИ | Синхронизированная передача информации через канал связи в устройство накопления или телеметрии |
| 1. Накопление и хранение   информации | НХИ | Накопление, форматирование и хранение синхронизированной магнито-инерциальной, позиционной и хронометрической информации |
| **Этап 3: постобработка информации** | | |
| 1. Передача | ПИ | Передача информации с флеш-карты на ПК |
| 1. Обработка | ОИ | Программно-алгоритмическая обработка (ПАО) информации на ПК по комбинированным алгоритмам АНВ, ОК, ОИ |
| 1. Результаты обработки | РОИ | Сравнение РОИ в трех каналах (магнитометрическом, инерциальном и спутниковом). Оценка погрешностей позиционирования между каналами |
| 1. Выдача | ВИ | Выдача результатов постобработки информации потребителю |

На первом и втором этапах проводят операции сбора, формирования и накопления первичной информации в режиме выполнения натурных (подготовительных и летных) испытаний МИМ на конкретном носителе. На третьем этапе по соответствующим алгоритмам на универсальных ПК выполняют операции обработки накопленной информации.

Из анализа табл. 2 видно, что более половины первичной информации, необходимой для корректного проведения ЛИ, должно формироваться предварительно на первом этапе.

*Этап 1*: *подготовка к летным испытаниям*

В основе формирования информации магнитометрического канала измерений лежат известные в магнитостатике уравнения Пуассона [3–7]:

|  |  |
| --- | --- |
| **Т** = [*Tx Ty Tz*]*T* = *B·M*·((*S*+*E*)*A* **Т**МПЗ + **Т**МПО), | (1) |

где **T** – вектор напряженности результирующего магнитного поля; *Тх*, *Ту*, *Тz* – проекции вектора **T** на оси связанного трехгранника (измерительного базиса) *m* *= XYZ*; *В*, *М –* технологические матрицы сборки блоков и монтажа МИМ; *S* – матрица коэффициентов Пуассона; *А* – матрица ориентации ПО; *E* – единичная матрица (3×3).

Уравнение Пуассона (1) представляет собой математическую модель формирования входных сигналов (проекций *Тх*, *Ту*, *Тz* вектора **T**), на которые реагирует трехосный блок магнитометров (ТБМ), с учетом влияния параметров матриц и векторов, фигурирующих в правой части уравнения. Это уравнение можно использовать для решения разнообразных обратных задач магнитометрии [4, 5]. В настоящее время решение таких задач магнитометрии, определяющих содержание технологических (инструментальных) калибровок (см. табл. 2, пп. 1–3) блоков магнитометров, акселерометров и гироскопов, достаточно подробно представлено в имеющейся литературе [9–15].

После проведения операций инструментальных калибровокв предстартовых условияхвыполняют*автономную начальную выставку*(см. табл. 2, п. 4) непосредственно на столе пусковой установки ПО с размещенным на нем модулем. В содержание АНВ входит решение следующих подготовительных подзадач определения:

* углов ψ0, ϑ0, γ0 начальной ориентации ПО на старте, где ψ0, ϑ0, γ0 – начальные значения углов курса, тангажа и крена;
* начальных географических координат φ0, λ0, *h*0 (φ0 – широта, λ0 – долгота, *h*0 – высота) местоположения ПО на старте с помощью спутниковых навигационных систем (СНС) GPS / ГЛОНАСС;
* проекций *ТN*0, *ТH*0, *ТE*0 вектора  на оси географического трехгранника *q* в точке установки и старта ПО.

Углы ψ0, ϑ0, γ0 на старте могут быть определены различными методами. В настоящее время наиболее эффективным следует признать *метод аналитической пространственной ориентации* (АПО) [12] по показаниям трехосных блоков акселерометров (ТБА), гироскопов (ТБГ) и магнитометров (ТБМ) предварительно выставленных в плоскость горизонта и местного меридиана в рабочую точку стартовой зоны без носителя. Начальные значения показаний блоков могут быть представлены в виде векторов:

* для блока ТБА

;

* для блока ТБГ

;

* для блока ТБМ

,

где *gN*0, *gН*0; Ω*N*0, Ω*Н*0; *ТN*0, *ТH*0, *ТE*0 – проекции векторов **g***q*0, **Ω***q*0,  на оси географического трехгранника *q*.

В соответствии с методом АПО по начальным значениям показаний блоков необходимо предварительно вычислить начальные значения направляющих косинусов  матрицы *А* ориентации ПО по формулам:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (2) |

где *i* = , *i* ~ *x*, *у*, *z*; *V*–1 – обратная матрица для матрицыидентификации*V*; *gх*0, *gу*0, *gz*0 и Ω*х*0, Ω*у*0, Ω*z*0 – показания ТБА и ТБГ соответственно в стартовых условиях в связанном трехграннике *m =* *XYZ*;

|  |  |
| --- | --- |
| , | (3) |

где *CN*0, *CH*0, *CE*0 – проекции вектора **С***q*0 на оси географического трехгранника *q*, причем

|  |  |
| --- | --- |
| , | (4) |

|  |  |
| --- | --- |
| , | (5) |

|  |  |
| --- | --- |
| **det***V* ≠ 0, | (6) |

где *Сi*0 (*i*~*x*, *y*, *z*) проекции вектора **С***m*0 на оси связанного трехгранника *m*; **det***V –* детерминант (якобиан)матрицы *V*.

Тригонометрические функции углов ψ0, ϑ0 γ0 на старте могут быть вычислены по начальным значениям направляющих косинусов  для каналов ориентации:

* тангажа

|  |  |
| --- | --- |
| ,  ,  ; | (7) |

* направления

|  |  |
| --- | --- |
| ,  ; | (8) |

* крена (вращения)

|  |  |
| --- | --- |
| ,  , | (9) |

где .

С учетом найденных с помощью СНС координат φ0, λ0, *h*0 местоположения ПО на старте и после определения начальных параметров ТБА, ТБГ и ТБМ в рабочей точке стартовой зоны без носителя численным путем проводят оценку параметров , ,  нормального (верхний индекс Н) магнитного поля Земли (МПЗ-Н) в географическом трехграннике *q* на базе общей модели *IGRF* (*International Geomagnetic Reference Field*) нормального геомагнитного поля (в частности, *WMM*-2015, *EMM*-2015, *HDGM*-2015 и др.). Затем вычисляют степень аномальности (верхний индекс А) МПЗ в той же точке по формулам сравнения:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (10) |

После выполнения операций АНВ и установки ПО в точку старта проводят операцию *объектовой калибровки* МИМ (см. табл. 2, п. 5), которая сводится к определению элементов матриц *S*, *M* и компонент вектора  (см. уравнение (1)), где *P*, *Q* и *R* – продольная, нормальная и поперечная составляющие вектора.

В состав объектовой калибровки входят следующие операции:

* определение компонент вектора по жесткой составляющей МПО, обусловленной намагниченностью ПО;
* определение элементов матрицы *S*к по индуктивной составляющей МПО, обусловленной магнитной проводимостью ПО;
* определение параметров по электромагнитным составляющим МПО: компонент векторов **r***j* (радиус-вектор, характеризующий положение центра *j*-го  электромагнитного источника (ЭМИ) помех) и **m***j*(вектор магнитного момента *j*-го ЭМИ помех) относительно точки положения ТБМ, а также элементов матриц *S*к*j* (матрица коэффициентов Пуассона объекта, связанная с действием *j*-го ЭМИ помех в к-конфигурации ПО) и [*Rj*] (геометрическая матрица *j*-го ЭМИ помех);
* аналитическая юстировка (определение параметров матрицы *М*).

Объектовая калибровка ТБМ по жесткой и индуктивной составляющим проводится в условиях, при которых ЭМИ магнитных помех выключены (**m***j* = 0, ).

При проведении объектовой калибровки МИМ следует учитывать все многообразие факторов, зависящих от ПО и оказывающих влияние на показания ТБМ. С этой целью в соответствии с принципом суперпозици представим вектор , на который реагирует ТБМ, в следующем виде:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (11) |

где **Т**к – вектор напряженности результирующего МПО при определенной конфигурации основания(к – номер конфигурации ПО, определяемый условиями включения различного набора ЭМИ помех); , ,  – векторы напряженности МПО, соответствующие индуктивной, жесткой (от намагниченности) и электромагнитной составляющим МПО дляк-конфигурации ПО.

Раскрывая уравнение (11) можно получить уравнение Пуассона в полуразвернутой векторно-матричной форме [3, 4]:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (12) |

где  – нижний индекс, соответствующий номеру конфигурации ПО; μ0 = 400π нТл⋅м/А – магнитная проницаемость вакуума;

|  |  |
| --- | --- |
| , | (13) |

где ; *хj*, *yj*, *zj* – проекции **r***j* на оситрехгранника *m*; *rj* – модуль **r***j*;

|  |  |
| --- | --- |
| **m***j* = [*mjx* *mjy* *mjz*]*T*, | (14) |

где ; *mjх*, *mjу*, *mjz* – проекции **m***j* на оситрехгранника *m*.

Для случая выключенных ЭМИ магнитных помех (**m***j* = 0) уравнение Пуассона (12) упрощается и сводится к виду (1), откуда видно, что объектовую калибровку МИМ по жесткой и индуктивной составляющим, т. е. идентификацию МПО, можно выполнить двумя способами [16, 17]:

* *геометрическим* (путем изменения пространственной ориентации ПО (*А* = var) в неизменном и известном МПЗ ());
* *физическим* (путем локального изменения и измерения параметров геомагнитного поля при неизменной и известной ориентации ПО (*А* = const)).

*Геометрический способ* *объектовой калибровки*

Выполнение данной операции предполагает проведение не менее четырех тестовых экспериментов (, *n* ≥ 4), в процессе выполнения которых изменяют и измеряют углы ориентации ПО (ψ*k*, ϑ*k*, γ*k*), фиксируют показания ТБМ () и вычисляют параметры МПО для каждого *k*-го эксперимента по следующим алгоритмам [4, 5, 14, 15]:

|  |  |
| --- | --- |
| ,  (, *n* ≥ 4; ), | (15) |

|  |  |
| --- | --- |
| ,  (, *n* ≥ 4), | (16) |

|  |  |
| --- | --- |
| , | (17) |

|  |  |
| --- | --- |
| det*N* ≠ 0, | (18) |

|  |  |
| --- | --- |
|  | (19) |

где *Аk* – матрица ориентации ПО;– матрицы углов крена, тангажа и курса; – направляющие косинусы углов ориентации ПО;  – оценка вектора **Т***m*;  – оценки проекций вектора  на оси связанного трехгранника *m*; *N* и det*N* – матрица идентификации МПО и ее детерминант (якобиан); *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, *h*, *k* – коэффициенты Пуассона для индуктивной составляющей МПО; *N*–1 – обратная матрица идентификации МПО; *Тхk*, *Тyk*, *Тzk* – показания ТБМ.

Идентифицированные по алгоритмам (15)–(19) параметры характеризуют магнитные свойства ПО:

* намагниченности

|  |  |
| --- | --- |
| ; | (20) |

* магнитной проводимости

|  |  |
| --- | --- |
| . | (21) |

Объектовая калибровка, выполненная геометрическим способом, наиболее удобна и реализуема применительно к малогабаритным ПО (например, БЛА). С некоторыми ограничениями этот способ может быть реализован как для плавающих аппаратов, так и мобильных ракетных комплексов.

*Физический способ объектовой калибровки*

Для крупногабаритных ПО (самолетов, вертолетов, межконтинентальных баллистических ракет (МБР) и др.) наиболее приемлемым следует признать физический способ проведения объектовой калибровки, сущность которого сводится к управлению с помощью катушек Гельмгольца магнитным полем Земли в пределах стартовой позиции ПО и измерению его параметров. При этом в уравнении Пуассона (1) следует учесть переменный вектор магнитного поля Земли  (формируемый и управляемый с помощью катушек Гельмгольца):

|  |  |
| --- | --- |
| (), | (22) |

где *ТNt*; *ТНt*; *ТЕt*; *ТN*, *ТН*; *ТЕ* – переменные и постоянные компоненты МПЗ в точке установки МИМ на ПО в стартовых условиях при проведении *t*-го эксперимента ( ); *А*θ, *А*ф – матрицы углов ориентации вектора **М***t* (наклона и азимута) относительно географического трехгранника *q*;**M***t* – вектор магнитного момента диполя, формируемого с помощью наклонной катушки Гельмгольца при *t*-ом эксперименте.

Магнитный момент диполя *Мt* эквивалентен магнитному моменту катушки с числом витков *w*, контуром радиуса *R*Г и током управления *It*:

|  |  |
| --- | --- |
| *Мt* *=* (π*w*)⋅*It*  (). | (23) |

Согласно закану Био–Савара–Лапласа напряженность магнитного поля катушки *Tt*, формируемая на оси диполя на расстоянии *x* от центра контура, рассчитывается по формуле [8]

|  |  |
| --- | --- |
| . | (24) |

С учетом проведения не менее четырех тестовых экспериментов решение задачи объектовой калибровки *физическим способом* строят по выше приведенному алгоритму (16)–(19), заменив индекс *k* на индекс *t*, а выражение (16) на следующее соотношение

|  |  |
| --- | --- |
| (). | (25) |

Идентифицированные по алгоритмам объектовой калибровки (геометрическим и физическим способами) параметры МПО в дальнейшем используются для решения задач обработки информации при летных испытаниях.

Наряду с этим необходимо дополнительно определить углы (α, β, σ) погрешности монтажа МИМ на объекте. Для этого требуется проведение операции *аналитической юстировки*.

*Аналитическая юстировка МИМ*

Углы α, β, σ являются элементами матрицы монтажа *М* [15]:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (26) |

где *М*σ, *М*β, *М*α – матрицы углов неточного монтажа МИМ на ПО.

Углы α, β, σ вычисляют по следующим алгоритмам в условиях функциональной избыточности информации:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (27) |

|  |  |
| --- | --- |
| , | (28) |

причем

|  |  |
| --- | --- |
| ,  ,  ,  , | (29) |

где знак «∧» над вектором или его компанентами обозначает операцию оценки.

После определения углов α, β, σ монтажа МИМ на ПО необходимо провести *электромагнитную калибровку* (см. табл. 2, п. 5) с целью определения параметров ЭМИ помех.

*Электромагнитная калибровка*

Электромагнитные составляющие МПО, присутствующие в уравнениях Пуассона (11), (12) в виде сумм, могут быть сведены к нулю путем экранирования источников помех ( = 0).

Если по конструктивным соображениям экранирование ЭМИ помех выполнить невозможно, то в содержание объектовой калибровки МИМ следует включить операции идентификации их параметров и настройку вычислителя. Причем операции идентификации выполняют в два этапа:

* снимают магнито-электрические **m***j*(*Ij*,χ*j*,η*j*) характеристики автономно в лабораторных условиях на специальных технологических установках (без ПО), где χ*j* и η*j* углы ориентации ЭМИ;
* определяют координаты **r***j* = [*xj* *yj* *zj*] установки ЭМИ на объекте.

Технологические установки позволяют задавать и регистрировать токи *Ij* и углы ориентации χ*j* и η*j* магнитной оси ЭМИ, а также измерять с помощью ТБМ вектор .

В соответствии с законом Био–Савара–Лааласа можно записать [8]

|  |  |
| --- | --- |
| ,  ,  ,  *mxj* = *mj*⋅cosχ*j*⋅cosη*j*,  *myj* = *mj*⋅sinη*j*,  *mzj* = *mj*⋅sinχ*j*⋅cosη*j*, | (30) |

где *mj* – модуль вектора **m***j*;  – номер ЭМИ помех; ρ – радиус *j*-го ЭМИ-контура; *Ij* – ток в обмотках *j*-го ЭМИ; **Т***j* – напряженность магнитного поля *j*-го ЭМИ.

Координаты *xj*, *yj* и z*j* определяют путем прямых измерений непосредственно на ПО.

Матрицы *S*к*j* (см. уравнение (12)) коэффициентов Пуассона идентифицируют аналогично определению матриц *S*к.

После проведения всего цикла технологических и объектовых калибровок (см. табл. 2, пп. 1–5) все параметры матриц и векторов в уравнении (12) становятся известными, кроме матрицы ориентации *А* и вектора **Т**МПЗ.

С учетом всех идентифицированных выше параметров уравнение (12) можно привести к виду:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (31) |

где *MT*, *B*–1, (*Sk* + *Е*)–1 – транспонированная и обратные матрицы.

Выражение (31) является алгоритмом приведения показаний МИМ к ортонормированному основанию.

Для исключения вырождения *k*-ых выражений (31) необходимо обеспечить выполнение условий ненулевых значений якобианов:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (32) |

С учетом выполнения условий (32), а также проведения предварительных калибровок (см. табл. 2, пп. 1–5), текущих измерений  и на борту ПО уравнения Пуассона (31) можно привести к укороченному виду:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (33) |

Путем обращения векторно-матричного уравнения (33) находим алгоритм вычисления оценок параметров МПЗ на борту ПО:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Или в полуразвернутом виде:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (34) |

Матрица ориентации *А* формируется на основе показаний системы ориентации (например, курсовертикали).

На этом заканчивается первый этап подготовки к ЛИ (см. табл. 2, пп. 1–5), в результате чего становятся известными параметры матриц *В*, *М*, *S* и вектора **Т**МПО**,** что в дальнейшем дает возможность использовать их для решения задач обработки информации при ЛИ.

*Этап* *2*: *измерения в процессе летных испытаний*

В результате выполнения операций формирования, сброса, накопления и хранения информации (см. табл. 2, пп. 6–8) с помощью бесплатформенной инерциальной и спутниковой навигационных систем, МИМ, датчика времени обеспечивают синхронные измерения магнито-инерциальных параметров, а затем формируют 13-мерный (минимальный) массив чисел. Этот массив первичной информации накапливается на флеш-карте непосредственно на борту ПО или передается по каналу телеметрии на пункт дальнейшей обработки информации.

*Этап 3*: *постобработка информации*

После измерения на втором этапе компонентов вектора  вычисляют вектор  по формуле обращения

|  |  |
| --- | --- |
| . | (35) |

По вычисленному вектору  в каждой точке траектории пространственного движения ПО вычисляют текущие координаты (φ, λ, *h*) местоположения объекта по алгоритму *дифференциальной геомагнитной навигации* (ДГМН) [7, 11], который позволяет сформировать навигационную информацию в каждой контрольной точке траектории ПО на основе информации магнитометрического канала измерений [11]:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (36) |

где – векторы напряженности МПЗ в географическом трехграннике *q*, определенные в текущей и реперной точках; **r**, **r**0 – радиусы-векторы текущей и реперной точек; Δ**r** –радиус корреляции; *G* – тензор градиентов МПЗ первого порядка, заданный в реперной точке.

При этом необходимо вычислять вектор  по формуле (35) с учетом изменяющейся текущей ориентации ПО (*А* = var). Тензор *G* определяют для каждой реперной точки геомагнитной сетки [11] на основании выбранной (например, ЕММ-2015) модели *IGRF* общего описания МПЗ-Н.

Для повышения точности решения задачи ДГМН вместо глобальной модели *IGRF* может быть использована уточненная комбинированная глобально-региональная модель (*CGRF*) аномального геомагнитного поля МПЗ-А для заданного региона околоземного пространства.

В соответствии с принципом суперпозиции модель *CGRF* может быть сформирована на основе геометрической суммы векторов [3]:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (37) |

где , ,  – компоненты нормального МПЗ-Н, вычисленные в соответствии с моделью *IGRF*;  – номер локальной магнитной аномалии; ρ*v* – радиус-вектор *v*-ой магнитной аномалии (удаление центра аномалии от начала отсчета приборного трехгранника *m*); *xv*, *yv*, *zv* – координаты центров *v*-х магнитных аномалий относительно начала отсчета трехгранника *m*; *Mxv*, *Myv*, *Mzv* – проекции векторов **M***v* локальных и региональных магнитных аномалий на оси трехгранника *m*.

Описание МПЗ с помощью модели *CGRF* не является универсальным и глобальным, так как носит регионально-ориентированный характер, но оно точнее характеризует структуру МПЗ в данном регионе и позволяет более эффективно решать прикладные задачи ориентации и навигации ПО на основе использования магнито-метрической информации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ориентация и навигация подвижных объектов. Современные информационные технологии / под общей ред. Б. С. Алешина, Е. К. Веремеенко, А. И. Черноморского. М. : Физматлит, 2006. 424 с.
2. *Плеханов В. Г*. Ключевые задачи современной автономной навигации // Гироскопия и навигация. 1996, № 1. С. 48–55.
3. *Семевский Р. Б*., *Аверкиев В. В*., *Яроцкий В. А*. Специальная магнитометрия. СПб. : Наука, 2002. 228 с.
4. *Игнатьев А. А*., *Проскуряков Г. М*. Гетеромагнитометрия : Алгоритмы, методики, калибровки блоков магнитометров. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2014. 152 с.
5. *Игнатьев А. А*., *Проскуряков Г. М*., *Каюшкина Е. А*. Проблемы и перспективы развития прецизионной магнитометрии // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2013. Вып. 15 : Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Методические аспекты физического образования. С. 93–103.
6. *Джанджгава Г. И*., *Герасимов Г. И*., *Августов Л. И*. Навигация и наведение по пространственным геофизическим полям // Изв. ЮФУ. Технические науки. 2013. № 3(140). С. 74–84.
7. *Вязьмин В. С*., *Головин А. А*., *Папуша И. А*., *Пепеленский М. Ю.* Информативность измерений векторного магнитометра и глобальных моделей магнитного поля Земли для коррекции БИНС летательного аппарата // XXIII Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам, 30 мая – 1 июня 2016 г. СПб. : ГНЦ РФ АО «Концерн ЦНИИ "Электроприбор"», 2016. С. 340–344.
8. Магнитометрические средства обнаружения. Теория и практика построения / под ред. И. Н. Крюкова. М. : Радиотехника, 2013. 192 с.
9. *Биндер Я. И.* Бесплатформенные измерительные инерциальные модули // Гироскопия и навигация. 2003. № 4. С. 30–40.
10. *Лекарев А. А*., *Спиридонов Д. М*., *Игнатьев А. А*., *Солопов А. А*. Магнито-инерциальный модуль для новых применений // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2016. Вып. 20 : Теоретические и экспериментальные исследования, компьютерные технологии. Методические аспекты физического образования. Экономика в промышленности. С. 4–12.
11. *Проскуряков Г. М*., *Игнатьев А. А*., *Поздняков М. В*., *Ляшенко А. В*. Дифференциальная геомагнитная навигация подвижных объектов // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2016. Вып. 20 : Теоретические и экспериментальные исследования, компьютерные технологии. Методические аспекты физического образования. Экономика в промышленности. С. 13–22.
12. Заявка 201712170042 Российская Федерация, МПК G05 D1/100, G01 C21/08. Способ автономной ориентации подвижных объектов / заявители Проскуряков Г. М., Голованов П. Н. и др. ; заявл. 20.06.2017.
13. *Силкин А. А*. Синтез и анализ алгоритмов определения пространственной ориентации беспилотной аэродинамической платформы по измерениям магнитного поля Земли : дис. … канд. техн. наук. М. : 2002. 280 с.
14. *Ляшенко А. В*., *Проскуряков Г. М*., *Поздняков М. В*., *Румянцев Г. Н*., *Игнатьев А. А*., *Васильев А. В*., *Спиридонов Д. М*. Технологическое обеспечение магнито-инерциального модуля // 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. 4–19.
15. *Игнатьев А. А*., *Проскуряков Г. М*., *Спиридонов Д. М*. Однофакторные калибровки блоков магнитометров (алгоритмы, методики, технологии) // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2013. Вып. 15 : Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Методические аспекты физического образования. С. 115–131.
16. Пат. 1633930 А1 Российская Федерация, МКИ G01 C17/38. Способ определения девиации курсоуказателя подвижного объекта / заявители Проскуряков Г. М., Саюров В. Д. и др. ; патентообладатель Конструкторское бюро промышленной автоматики. № 4722359/10 ; заявл. 24.07.1989 ; опубл. 27.09.1993.
17. Пат. 2096818 С1 Российская Федерация, МПК G05 D1/08, G01 R33/00, G01 V3/00. Способ определения коэффициентов Пуассона подвижного объекта и устройство для его осуществления / заявитель и патентообладатель Смирнов Б. М. № 95101779/07 ; заявл. 07.02.1995 ; опубл. 20.11.1997.

УДК 621.373.522

**МОДУЛЯЦИОННЫЕ СПЕКТРЫ ФЛУКТУАЦИЙ**

**СИГНАЛА МНОГОДИОДНОГО ГЕНЕРАТОРА СВЧ**

**А. С. Шаповалов**, **А. В. Ляшенко**

Саратовский национальный исследовательский

государственный университет имени Н. Г. Чернышевского

Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83

E-mail: apd@sgu.ru

Исследуются модуляционные шумы выходного сигнала многодиодного генератора СВЧ. Представлена полная система выражений для собственных и взаимных спектров амплитудных, частотных и фазовых флуктуаций сигнала, вызванных низкочастотными шумами активных элементов. Показано, что степень влияния количества диодов на уровень модуляционных шумов зависит от стратегии настройки генератора и особенностей его электродинамической системы.

*Ключевые слова*: многодиодный генератор, модуляционный шум, спектральная плотность, флуктуации амплитуды, частоты, фазы.

**Modulation Spectrums of the Signal Fluctuations**

**of the Multidiode Microwave Generator**

**A. S. Shapovalov**, **A. V. Lyashenko**

The modulation noise of the output signal of a multidiode microwave generator is investigated. A complete system of expressions for the proper and mutual spectrums of amplitude, frequency and phase signal fluctuations caused by low-frequency noise of active elements is presented. It is shown that the influence of the number of diodes on the level of modulation noise depends on the tuning strategy of the generator and the features of its electrodynamic system.

*Key words*: multidiode generator, modulation noise, spectral density, amplitude, frequency, phase fluctuations.

В работе [1] представлена полная система собственных и взаимных спектров флуктуаций сигнала многодиодного генератора, вызванных СВЧ шумами диодных модулей, при этом низкочастотные источники внутренних шумов генератора не учитывались.

Настоящая работа посвящена расчету спектров флуктуаций сигнала, обусловленных низкочастотными источниками собственных шумов генератора, сведения о которых в литературе отсутствуют, и формированию полной системы этих спектров. Система спектров флуктуаций низкочастотной (модуляционной) природы существенно дополнит информацию об интегральном шуме многодиодных генераторов, сделав ее более объективной и полезной для практического применения [2].

Методика расчета спектров флуктуаций основана на использовании обобщенной эквивалентной схемы многодиодного генератора – сумматора мощности [1, 3, 4], которая наряду с высокочастотным контуром, соответствующим суммирующему резонатору, включает низкочастотный контур, соответствующий цепи питания диодов.

Реальная схема многодиодного генератора приводится к обобщенной методом редуцирования [5, 6], т. е. пересчетом элементов диодных модулей и нагрузки в контур суммирующего резонатора и объединением соответствующих элементов. Естественно, что при изменении числа диодов подобная операция должна проводиться при условии, что мощность, генерируемая каждым диодным модулем, остается неизменной. Это условие можно выполнить различными способами. Рассмотрим два способа реализации этого условия:

* подстройка нагрузки (изменение связи суммирующего резонатора с нагрузкой);
* подстройка диодных модулей (изменение связи диодных модулей с суммирующим резонатором). Все диодные модули будем считать идентичными, а трансформаторы связи суммирующего резонатора с диодными модулями и нагрузкой – идеальными.

Основное достоинство предлагаемой методики вычисления спектров заключается в том, что она, в отличие от квазистатического подхода, учитывает динамическую инерционность автоколебательной системы [4]. Это означает, что все результаты получаются на основе флуктуационных уравнений, в которых сохраняются производные от флуктуаций амплитуды и частоты. Это обстоятельство обусловливает более высокую точность определения зависимости спектральной плотности от частоты.

*Спектральная плотность флуктуаций амплитуды*

Двухсторонняя спектральная плотность *S*α*lfN*(Ω) флуктуаций α(*t*) (*t* – время) амплитуды сигнала *N*-диодного генератора, рассчитанная в [7] на основе обобщенной эквивалентной схемы, имеет вид:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (1) |

где индексы  у символа спектральной плотности означают низкочастотное (модуляционное) происхождение флуктуаций; индексы 1 и *N* у символов этого и последующих выражений указывают на то, что символы относятся к однодиодному или *N*-диодному генератору; Ω – круговая частота флуктуаций; *pN* *–* прочность предельного цикла; *KamN* – амплитудная модуляционная чувствительность;  – спектральная плотность низкочастотных флуктуций тока *is* в цепи питания обобщенной схемы.

При *N* *=* 1 выражение (1) дает амплитудный спектр однодиодного генератора. Динамические параметры *pN* и *KamN* многодиодного генератора связаны с аналогичными величинами *p*1 и *Kam*1 для однодиодной системы соответствующими уравнениями, которые будут приведены ниже, так как их вид зависит от стратегии настройки генератора. Связь параметров *p*1 и *Kam*1 с импедансными характеристиками диодных модулей и нагрузки определена в [1, 4, 8, 9]. Если пренебречь зависимостью активных сопротивлений диодов и нагрузки от частоты, то можно записать:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (2) |

|  |  |
| --- | --- |
| , | (3) |

где *I*1 – амплитуда СВЧ тока в контуре суммирующего резонатора;  – параметр фиксирующей способности контура, равный отношению фиксирующей способности суммирующего резонатора к внесенной фиксирующей способности диодного модуля в однодиодном генераторе; *Хр* – мнимая часть импеданса суммирующего резонатора (штрих над символами означает производную по частоте); *Х*1 – мнимая часть импеданса диодного модуля, включающая и реактивность диода и пересчитанная в контур суммирующего резонатора; *Rd*1 – модуль активного сопротивления диода, пересчитанный в контур суммирующего резонатора; *Is*1 – ток питания в однодиодной схеме генератора. Нижний индекс у скобок означает, что соответствующая величина отвечает рабочей точке диода.

Соотношение, связывающее спектральную плотность  с аналогичной величиной  для однодиодного генератора, зависит от схемы питания диодов. При параллельной схеме питания диодов, которая будет предполагаться в дальнейшем, и некоррелированном характере источников собственных шумов активных элементов оно имеет вид:

|  |  |
| --- | --- |
| . | (4) |

При заданном уровне собственных шумов диодных модулей спектральная плотность флуктуаций амплитуды (1) определяется прочностью предельного цикла и амплитудной модуляционной чувствительностью, которые, в свою очередь, зависят от числа диодных модулей и параметра фиксирующей способности контура. Как показали исследования [5, 6], вид этих зависимостей обусловливается стратегией настройки генератора. Таким образом, возникает необходимость исследования спектров флуктуаций при различных способах настройки генератора.

Рассмотрим спектр амплитудных флуктуаций при первом способе настройки генератора (подстройка нагрузки). Для удобства сравнения спектральных плотностей флуктуаций многодиодного и однодиодного генераторов выразим правую часть уравнения (1) через параметры однодиодной автоколебательной системы. При указанном способе настройки уравнения связи динамических параметров (прочности предельного цикла и амплитудной модуляционной чувствительности) многодиодного и однодиодного генераторов записываются так [7–9]:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (5) |

|  |  |
| --- | --- |
| , | (6) |

|  |  |
| --- | --- |
| , | (7) |

где *а* – коэффициент преобразования прочности предельного цикла при первом способе настройки многодиодного генератора. Согласно (7) при увеличении параметра *q*ф  от значений *q*ф ≈ 0 до величин *q*ф >> *N* коэффициент *а* возрастает в пределах от 1 до *N*.

Подстановка соотношений (4)–(6) в равенство (1) приводит к следующему выражению для спектра амплитудных флуктуаций выходного сигнала многодиодного генератора:

|  |  |
| --- | --- |
| . | (8) |

Выражение для спектральной плотности амплитудных флуктуаций однодиодного генератора можно получить из равенства (8) при *N* = 1, когда коэффициент преобразования прочности предельного цикла также равен 1:

|  |  |
| --- | --- |
| . | (9) |

Равенства (8) и (9) позволяют рассчитать амплитудные спектры многодиодного и однодиодного генераторов и определить их отношение, т. е. коэффициент коллективной трансформации амплитудных флуктуаций низкочастотного происхождения [1].

Проанализируем соотношение спектров (8) и (9). В целях более краткого изложения ограничимся обсуждением различных предельных случаев.

Предположим, что используемая электродинамическая система генератора такова, что параметр фиксирующей способности колебательного контура мал (*q*ф << 1). Тогда *а* ≈ 1, и из выражений (8), (9) следует:

|  |  |
| --- | --- |
| . | (10) |

Уровень амплитудных флуктуаций многодиодного генератора в *N* раз ниже, чем в однодиодном случае. Коэффициент коллективной трансформации амплитудных флуктуаций на всех частотах Ω одинаков и равен 1/*N*.

Если параметр фиксирующей способности колебательного контура велик (*q*ф >> *N*), то *а* ≈ *N*, и выражение (8) принимает вид:

|  |  |
| --- | --- |
| . | (11) |

Соотношение спектров многодиодного и однодиодного генераторов оказывается более сложным и зависит от частоты флуктуаций. Учитывая, что при *N* = 1 выражение (11) описывает амплитудный спектр однодиодного генератора, нетрудно видеть, что на достаточно высоких частотах флуктуаций () равенство (11) приводит к следующей связи спектров:

|  |  |
| --- | --- |
| . | (12) |

На достаточно низких частотах флуктуаций () из равенства (11) следует связь спектров, имеющая вид (10). Таким образом, на низких частотах флуктуаций Ω уровень амплитудного спектра многодиодного генератора в *N* раз ниже, а на высоких частотах – в *N* раз выше, чем в однодиодном генераторе.

Теперь рассмотрим закономерности трансформации флуктуаций низкочастотной природы в многодиодном генераторе при втором способе его настройки (подстройке диодных модулей). В этом случае уравнение связи прочности предельных циклов многодиодного и однодиодного генераторов примет вид [7–9]:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (13) |

а связь амплитудной модуляционной чувствительности автоколебательных систем останется такой же, как и при первом способе настройки (6).

Подстановка выражений (4), (6) и (13) в (1) приводит к соотношению спектров, имеющему вид (10).

Таким образом, при втором способе настройки генератора спектральная плотность амплитудных флуктуаций в многодиодном варианте в *N* раз ниже, чем в однодиодном.

*Спектральная плотность флуктуаций частоты*

Выражение для двухсторонней cпектральной плотности *S*ν*lfN*(Ω) флуктуаций *ν*(*t*) частоты сигнала *N*-диодного генератора, рассчитанное в [7] на основе обобщенной схемы, имеет вид:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (14) |

где *qN* и *KvmN* – неизохронность и частотная модуляционная чувствительность *N*-диодного генератора соответственно.

Динамические параметры *qN* и *KvmN* многодиодного генератора зависят от аналогичных величин *p*1 и *Kam*1 для однодиодной системы, которые определяются импедансными характеристиками диодных модулей следующим образом [8, 9]:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (15) |

|  |  |
| --- | --- |
| , | (16) |

где *X*1, *Xd*1 – соответственно реактивные сопротивления диодного модуля и диода, пересчитанные в контур суммирующего резонатора. Величина *X*1 включает и реактивное сопротивление диода.

Предположим, что при увеличении числа диодов многодиодный генератор настраивается первым способом (подстройка нагрузки*).* В этом случае динамические параметры генераторов (неизохронность и частотная модуляционная чувствительность) оказываются связанными следующими уравнениями [8, 9]:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (17) |

|  |  |
| --- | --- |
| . | (18) |

Окончательное выражение для спектральной плотности флуктуаций частоты многодиодного генератора при первом способе настройки получим, подставив (4)–(6), (17) и (18) в (14):

|  |  |
| --- | --- |
| . | (19) |

Совокупность уравнений (2), (3), (15), (16) и (19) образует систему соотношений, позволяющих рассчитать спектр флуктуаций частоты однодиодного и многодиодного генераторов при первом способе настройки.

Воспользуемся уравнением (19) и его следствием при *N* = 1 для сравнения уровней частотных флуктуаций исследуемых генераторов при первом способе настройки. Как и ранее, сравнение проведем в различных предельных случаях.

Предположим, что параметр фиксирующей способности колебательного контура мал (*q*ф << 1 и *а* ≈ 1). Тогда выражение (19) примет вид:

|  |  |
| --- | --- |
| . | (20) |

Сравнение уравнения (20) и его следствия, соответствующего *N* = 1, показывает, что

|  |  |
| --- | --- |
| . | (21) |

Таким образом, при первом способе настройки уровень частотных флуктуаций в многодиодном генераторе в *N* раз ниже, чем в однодиодном.

Если параметр фиксирующей способности контура достаточно велик (*q*ф >> *N*, *a* ≈ *N*), то из (19) получим

|  |  |
| --- | --- |
| . | (22) |

Следовательно, на достаточно низких частотах, когда

|  |  |
| --- | --- |
| , | (23) |

и на достаточно высоких частотах, когда

|  |  |
| --- | --- |
| , | (24) |

связь уровней частотных флуктуаций в многодиодном и однодиодном генераторах оказывается одинаковой. Действительно, с учетом условий (23) и (24) из (22) следует

|  |  |
| --- | --- |
| . | (25) |

Согласно (25) уровень частотных флуктуаций в многодиодном генераторе в *N* раз выше, чем в однодиодном.

Теперь обратимся к спектрам флуктуаций частоты при втором способе настройки многодиодного генератора. В этом случае уравнения связи динамических параметров генераторов (неизохронности и частотной модуляционной чувствительности) имеют вид [8, 9]:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (26) |

|  |  |
| --- | --- |
| . | (27) |

Подстановка выражений (4), (6), (13), (26) и (27) в (14) приводит к уравнению связи спектров, имеющему вид (21).

Таким образом, при втором способе настройки спектральная плотность частотных флуктуаций в многодиодном генераторе в *N* раз ниже, чем в однодиодном.

*Взаимная спектральная плотность*

*амплитудно-частотных флуктуаций*

В общем случае взаимная спектральная плотность амплитудно-частотных флуктуаций *S*αν*lfN* имеет комплексный характер. Спектральный анализ флуктуационных уравнений для обобщенной схемы многодиодного генератора дает следующую связь взаимного спектра флуктуаций генерируемого сигнала с собственной спектральной плотностью низкочастотных флуктуаций тока питания диодов [7]:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (28) |

где . Выражение (28) справедливо при любом способе настройки многодиодного генератора.

Рассмотрим взаимные спектры многодиодного и однодиодного генераторов и их соотношение при первом способе настройки. Для этого подставим в равенство (28) уравнения связи динамических и шумовых параметров (4)–(6), (17) и (18). Тогда выражение (28) запишется следующим образом:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (29) |

Нетрудно видеть, что вид спектра многодиодного генератора существенным образом зависит от параметра фиксирующей способности контура *q*ф, который содержится в величине *а*.

Для определения соотношений спектров многодиодного и однодиодного генераторов в различных предельных случаях воспользуемся равенством (29) и его следствием, соответствующим *N* = 1. Если параметр фиксирующей способности контура мал (*q*ф << 1), то *а* ≈ 1, и соотношение (29) примет вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (30) |

откуда следует

|  |  |
| --- | --- |
| , | (31) |

т. е. взаимный спектр амплитудно-частотных флуктуаций в многодиодном генераторе в *N* раз ниже, чем в однодиодном.

Теперь предположим, что параметр фиксирующей способности колебательного контура достаточно велик и *q*ф >> *N*. Тогда *а* ≈ *N*, и выражение (29) преобразуется к виду:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (32) |

Как и следовало ожидать, соотношение взаимных спектров флуктуаций многодиодного и однодиодного генераторов зависит от частоты Ω. Если частота достаточно низка и , то из (32) следуют равенства:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (33) |

|  |  |
| --- | --- |
| . | (34) |

Действительные части взаимных спектров (33) многодиодного и однодиодного генераторов одинаковы. Модуль мнимой части взаимного спектра (34) многодиодного генератора в *N* раз меньше по сравнению с однодиодным.

Если частота достаточно высока и , то согласно (32) получим:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (35) |

|  |  |
| --- | --- |
| . | (36) |

Для этого случая в многодиодном генераторе действительная часть взаимного спектра и модуль его мнимой части выше соответствующих величин в однодиодной системе соответственно в *N*2 и *N* раз.

Проанализируем соотношение взаимных спектров флуктуаций при втором способе настройки многодиодного генератора. Подставив в (28) уравнения связи динамических и шумовых параметров (4), (6), (13), (26) и (27), соответствующих указанному способу настройки, нетрудно видеть, что взаимные спектры флуктуаций связаны равенством (31), откуда следует, что уровень взаимной спектральной плотности амплитудно-частотных флуктуаций в многодиодном генераторе в *N* раз ниже, чем в однодиодном.

*Спектральная плотность флуктуаций фазы*

Вопрос о спектре флуктуаций фазы φ(*t*) вызывает определенные затруднения, так как в реальных генераторах фазовые флуктуации, как правило, нестационарные. Однако детальное обсуждение этой проблемы показало [1, 9–11], что достаточно быстрые изменения фазы приближенно можно считать стационарными, и, следовательно, для частоты флуктуаций Ω, существенно превышающей ширину спектральной линии сигнала, спектральную плотность флуктуаций фазы *S*φ*lf*(Ω) можно выразить через спектр флуктуаций частоты *S*ν*lf*(Ω) с помощью известного соотношения [12]:

|  |  |
| --- | --- |
| . | (37) |

Тогда на основании (14) и (37) можно записать выражение для спектральной плотности флуктуаций фазы *S*φ*lfN*(Ω) генератора с произвольным числом диодов *N*:

|  |  |
| --- | --- |
| . | (38) |

Для дальнейшего расчета спектров многодиодного и однодиодного генераторов и выяснения их соотношения необходимо задать стратегию настройки.

Предположим, что в процессе увеличения числа диодов многодиодный генератор настраивается первым способом (подстройка нагрузки). Тогда подстановка уравнений связи динамических и шумовых параметров (4), (5), (6), (17) и (18) в (38) преобразует его к виду

|  |  |
| --- | --- |
| . | (39) |

При этом способе настройки соотношение спектров зависит от параметра фиксирующей способности контура.

Предположим, что параметр *q*ф фиксирующей способности контура достаточно мал (*q*ф << 1), тогда *а* ≈ 1, и выражение (39) преобразуется к следующему виду:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (40) |

откуда

|  |  |
| --- | --- |
| . | (41) |

Следовательно, при настройке первым способом на всех частотах уровень фазового шума в многодиодном генераторе в *N* раз меньше, чем в однодиодном.

В рамках этого же способа настройки рассмотрим другой предельный случай. Допустим, что параметр фиксирующей способности контура *q*ф достаточно велик (*q*ф >> *N*), тогда *а* ≈ *N*, и выражение (39) преобразуется к виду

|  |  |
| --- | --- |
| . | (42) |

Связь спектров (42) зависит от частоты и обладает следующей особенностью: на достаточно высоких и достаточно низких частотах оказывается одинаковой.

Действительно, если условие *q*ф >> *N* дополнить требованием, что частота достаточно низкая и выполняется неравенство

|  |  |
| --- | --- |
| , |  |

то из (42) следует, что

|  |  |
| --- | --- |
| . | (43) |

Таким образом, при первом способе настройки на достаточно низких частотах уровень фазовых флуктуаций в многодиодном генераторе в *N* раз выше, чем в однодиодном.

Если теперь условие *q*ф >> *N* дополнить требованием, что частота достаточно высока, т. е. , то, как нетрудно видеть, из (42) последует то же самое соотношение спектров (43).

Перейдем к анализу соотношения спектров фазовых флуктуаций при втором способе настройки генератора (подстройка диодных модулей). В этом случае динамические и шумовые параметры многодиодного и однодиодного генераторов связаны соотношениями (4), (6), (13), (26) и (27). При подстановке этих соотношений в исходное уравнение (38), оно преобразуется к виду:

|  |  |
| --- | --- |
| . | (44) |

Это свидетельствует о том, что спектры флуктуаций фазы связаны равенством (41).

Таким образом, при втором способе настройки уровень фазовых флуктуаций в многодиодном генераторе в *N* раз ниже, чем в однодиодной системе.

*Взаимная спектральная плотность*

*амплитудно-фазовых флуктуаций*

Определим взаимную спектральную плотность амплитудно-фазовых флуктуаций сигнала многодиодного генератора для частот флуктуаций Ω, существенно превышающих ширину спектральной линии сигнала. Для этого воспользуемся известным соотношением, связывающим взаимные спектры амплитудно-частотных и амплитудно-фазовых флуктуаций [12]:

|  |  |
| --- | --- |
| . | (45) |

Используя выражения (28) и (45), можно записать выражение для взаимной спектральной плотности амплитудно-фазовых флуктуаций многодиодного генератора:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (46) |

Это выражение справедливо при любом способе настройки генераторов и произвольном значении *N*, в том числе и при *N* = 1.

Для сравнения уровней амплитудно-фазовых флуктуаций в многодиодном и однодиодном генераторах необходимо задать способ их настройки. Предположим, что настройка генераторов осуществляется первым способом (подстройка нагрузки). В этом случае динамические и шумовые параметры многодиодного и однодиодного генераторов связаны уравнениями (4), (5), (6), (17) и (18). При использовании этих уравнений соотношение (46) преобразуется в выражение

|  |  |
| --- | --- |
|  | (47) |

которое может быть использовано как для расчета спектров флуктуаций при первом способе настройки, так и для выяснения соотношения уровней спектров в многодиодном и однодиодном вариантах генераторов.

Как уже отмечалось выше, соотношение уровней указанных спектров зависит от параметра фиксирующей способности контура. Предположим, что параметр фиксирующей способности контура мал (*q*ф << 1), тогда *а* ≈ 1, и выражение (47) примет вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (48) |

тогда уровни амплитудно-фазовых спектров оказываются связанными соотношением

|  |  |
| --- | --- |
| . | (49) |

На всех частотах Ω флуктуаций, существенно превышающих ширину спектральной линии сигнала, взаимная спектральная плотность флуктуаций сигнала многодиодного генератора в *N* меньше, чем у однодиодного.

Если колебательный контур характеризуется высоким значением параметра фиксирующей способности (*q*ф >> *N*), то *а* ≈ *N*, и из выражения (47) следует:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (50) |

Согласно (50) соотношение уровней амплитудно-фазовых флуктуаций для *q*ф >> *N* зависит от частоты Ω.

Если принятое выше условие (*q*ф >> *N*, *а* ≈ *N*) дополнить неравенством , т. е. предположить, что частота флуктуаций достаточно мала, то выражение (50) примет вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (51) |

откуда следует, что на достаточно низких частотах переход от однодиодной схемы генератора к многодиодной сопровождается уменьшением действительной части взаимного спектра в *N* раз. При этом мнимая часть не изменяется.

Если же условие *q*ф >> *N*, *а* ≈ *N* дополнить неравенством , т. е. предположить, что частота флуктуаций достаточно высока, то выражение (50) примет вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (52) |

Таким образом, при первом способе настройки генераторов и высоких значениях параметра фиксирующей способности контура переход от однодиодной схемы к многодиодной сопровождается увеличением действительной части взаимного спектра в *N* раз, а мнимой части – в *N*2 раз (см. (52)).

Перейдем к анализу трансформации взаимного спектра амплитудно-фазовых флуктуаций при втором способе настройки генераторов (подстройка диодных модулей). В этом случае динамические и шумовые параметры, входящие в правую часть исходного выражения (46) связаны равенствами (4), (6), (13), (26) и (27). Нетрудно показать, что их подстановка в (46) приводит к связи взаимных спектров, которая выражается соотношением (49), т. е. на всех частотах флуктуаций уровень взаимного спектра в многодиодном генераторе в *N* раз ниже, чем в однодиодной системе.

В заключение отметим, что представленные выше тенденции в изменении уровня шумов выходного сигнала при вариациях параметров многодиодного генератора наблюдались экспериментально [13–15]. Полученная система спектров флуктуаций сигнала многодиодного генератора может быть использована для оценки вклада низкочастотных источников флуктуаций [16–18] в полный уровень шумов генерируемого колебания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Шаповалов А.* *С*., *Инкин М. Г*., *Мироненко К. В.* Спектры флуктуаций сигнала многодиодного генератора СВЧ // Гетеромагнитная микроэлектроника : cб. науч. тр. / Саратов : Изд-во ОАО «Институт критических технологий», 2017. Вып. 22 : Теоретические и экспериментальные исследования, компьютерные технологии. Методические аспекты физического образования. Экономика в промышленности. С. 16–26.
2. *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 // Успехи современной радиоэлектроники. 2016. № 3. С. 32–86.
3. *Шаповалов А. С.* Исследование флуктуаций сигнала полупроводникового СВЧ генератора // Вопр. электроники СВЧ : межвуз. науч. сб. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 1985. Вып. 14. С. 15–22.
4. *Шаповалов А. С*. Исследование влияния сверхвысокочастотных и низкочастотных источников флуктуаций на шумовые параметры твердотельного генератора // Вопр. прикладной физики : межвуз. науч. сб. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 1989. Вып. 2. С. 3–19.
5. *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.
6. *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 Сарат. ун-та, 1997. Вып. 3. С. 47–70.
7. *Шаповалов А. С*., *Листов А. С*., *Шаповалова И. А.* О частотной зависимости спектральной плотности модуляционных шумов многодиодного генератора СВЧ // Вопр. прикладной физики : межвуз. науч. сб. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2007. Вып. 14. С. 40–45.
8. *Шаповалов А. С*., *Минкин Л. М*., *Кудряшов С. А*., *Шаповалов С. А*., *Машников В. В.* Шумовая модуляционная чувствительность многодиодного генератора СВЧ // Вопр. прикладной физики : межвуз. науч. сб. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2006. Вып. 13. С. 45–49.
9. *Шаповалов А. С.*, *Минкин Л. М.* Взаимный спектр флуктуаций амплитуды и фазы сигнала многодиодного генератора СВЧ // Вопр. прикладной физики : межвуз. науч. сб. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2017. Вып. 24. С. 30–32.
10. *Шаповалов А. С*., *Машников В. В*., *Минкин Л. М.* Флуктуации фазы сигнала многодиодного генератора СВЧ // Вопр. прикладной физики : межвуз. науч. сб. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2017. Вып. 24. С. 27–29.
11. *Корнилов С. А*., *Савшинский В. А*., *Уман С. Д.* Шумы клистронных генераторов малой мощности. М. : Сов. радио, 1972. 200 с.
12. *Свешников А. А.* Прикладные методы теории случайных функций. М. : Наука, 1968. 464 с.
13. *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.
14. *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.
15. *Кудряшов С. А*., *Шаповалов А. С.* Способ улучшения шумовых характеристик диодных СВЧ-генераторов, содержащих линию передачи // Электронная техника. Сер. 1 : СВЧ-техника. 1997. Вып. 1. С. 32–33.
16. *Голубенцев А. Ф.*, *Шаповалов А. С.* К вопросу о спектральной плотности флуктуаций тока эмиссии термокатода // Изв. вузов. Радиофизика. 1974. Т. 17, № 12. С. 1885–1890.
17. *Шаповалов А. С.*, *Денисов Ю. И.* Статистический механизм возникновения аномальных дробовых шумов в потоках носителей заряда // Изв. вузов. Радиоэлектроника. 1985. Т. 28, № 5. С. 88.
18. *Шаповалов А. С.*, *Инкин М. Г*., *Мироненко К. В.* Аномальный дробовой шум на неоднородном потенциальном барьере // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2016. Вып. 20 : Теоретические и экспериментальные исследования, компьютерные технологии. Методические аспекты физического образования. Экономика в промышленности. С. 41–46.

УДК 629.7.05

**ГЕОМАГНИТНЫЕ АВТОНОМНЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ**

**(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

Приводится информация о патентах России, США и Китая на изобретения по геомагнитной автономной навигации, включая беспилотные навигационные аппараты.

*Ключевые слова*: магнитная навигационная система, беспилотный навигационный аппарат, датчик магнитного поля.

**Geomagnetic Autonomous Navigation Systems**

**(Patent Review)**

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

There provided information about patents of Russia, USA and China on geomagnetic autonomous navigation inventions including unmanned navigation devices.

*Key words*: magnetic navigation system, unmanned navigation device, magnetic sensor.

Современные геомагнитные автономные навигационные системы должны обеспечивать точность определения координат позиционирования объекта, обладать высокой надежностью, иметь малые габариты и массу [1, 2]. Такие устройства, как правило, включают датчики геомагнитной и угловой информации, блоки обработки сигналов (системы сравнения, коррекции, вычисления и выдачи выходных сигналов) [3, 4].

Создание современных высокоточных малогабаритных навигационных систем позиционирования и ориентации подвижных объектов связано с новыми техническими решениями их конструктивных элементов и методами обработки сигналов.

Ведущими странами по разработке устройств геомагнитной навигации являются Россия, Китай, США.

Ниже приводится информация о запатентованных изобретениях по магнитной навигации с января 2012 г. по апрель 2018 г. Информация о патентообладателях и годах опубликования изобретений представлена в таблице.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Страна | Год публикации | | | | | | |
| 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
| Россия (RU) |  |  | 1 |  |  | 2 |  |
| США (US) |  |  | 1 |  |  | 4 | 1 |
| Китай (CN) | 1 |  | 1 |  | 1 | 8 |  |

Ведущими фирмами по геомагнитной автономной навигации и ее элементной базе в России, США и Китае являются UNIV BEIHANG (CN), UNIV JIANGSU SCIENCE & TECH (CN), SHANGHAT AEROSPASCE CONTROL TECH RES INST (CN), INTELLIGENT TECH LTD (CN), COMMUNICATION TECH Co LTD (CN), Microsoft Technology Licensing LLC (US), UNIV NANJING AERONAUTICS & ASTRONAUTICS (CN), Qualcomm INC (US), XIAN TIANHE MARITIME TECH CO LTD (CN), ОАО МНПК «Авионика» (RU), UNIV SOUTH CHINA TECH (CN), SUZHOU GENIUS INTELLIGENT TECH CO LTD (CN).

В патенте Китая № CN 105973232 описываются метод и система автономной навигации околоземного спутника. Предметом изобретения патента является автономная навигационная спутниковая система для околоземных орбит. Сущность изобретения состоит в сравнении магнитных полей двух спутников, один из которых является наблюдаемым, а орбита другого должна быть определена. По отношению к магнитным полям спутника определяется угловое положение объекта, и в результате определяется его орбита. В патенте представлена пошаговая реализация метода с приведением математических выражений алгоритма вычислений. Технический результат изобретения – высокие точность и надежность автономной навигации, низкая стоимость устройства.

В изобретении России № RU 2013100327 авторами предложен способ персональной автономной навигации, который обеспечивает определение географических координат местоположения наблюдателя в реальном масштабе времени на основе информации о поле тяжести Земли и ее угловых скоростях вращения. В патенте приведены алгоритмы определения нормальной составляющей магнитного поля Земли по показаниям блока магнитометров, а также алгоритмы получения информации об углах ориентации корпуса объекта. Показано, что максимальная величина погрешности позиционирования по углу не превышает 0,25´´.

В патенте США № US 2014152455 представлено автономное подводное движущееся устройство, позволяющее проводить подводные исследования в непосредственной близости от морского дна (глубина до 3000 м) и осуществлять навигацию по запрограммированному маршруту.

В Китае запатентована (патент № CN 102829777) интегральная навигационная система и метод ее реализации для автономного подводного робота. Система содержит блок позиционирования, инерциальный блок, магнитометр, доплеровский измеритель скорости. В патенте приведены блок-схема устройства, алгоритм расчета, графический материал.

В патенте Китая № CN 102607564 изобретением является малогабаритная спутниковая навигационная система, основанная на звездном геомагнетизме, и метод ее реализации. Навигационная система содержит спутниковую систему на основе звездного датчика и измерительную систему магнитного поля Земли (магнитометр). Спутниковая навигационная система получает и использует информацию о звездном свете от нескольких звезд. Такой метод может быть использован для навигации по малому спутнику. В патенте приводится алгоритм определения скоростей и координат объекта.

Патент Китая № CN 106483965 представляет инерциальную навигационную систему летательного аппарата, основанную на магнитной коррекции. Устройство содержит датчики определения параметров магнитного поля и координат объекта, контроллеры. Целью изобретения является улучшение навигационной точности.

В патенте России № RU 2612898 предложена навигационная система маршрутного пилотирования летательных аппаратов в арктических акваториях, которая содержит проложенный между взлетно-посадочными пунктами материково-островной акватории подводный токоведущий кабель и установленные на летательных аппаратах (ЛА) устройства:

* забортное приемное, состоящее, по меньшей мере, из трех ортогонально расположенных магнитоприемников, оси чувствительности которых направлены по трем главным осям ЛА;
* бортовое (для регистрации параметров магнитной составляющей электромагнитного поля, генерируемого подводным токоведущим кабелем).

В патенте приведен рисунок функциональной схемы 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 и питания. В качестве магнитоприемников предлагается использовать высокочувствительные индукционные катушки. В ходе прохождения ЛА над токоведущим кабелем магнитоприемники регистрируют магнитную составляющую поля. 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 США № US 2017074660 предлагаются устройство и метод определения географического положения объекта. Устройство содержит измерительный блок, состоящий из гироскопа и магнитометра, и модуль опредения градиента скорости. Градиенты магнитного поля вдоль траектории движения сравниваются с градиентами магнитного поля карты.

Патент Китая № CN 106679658 относится к безсигнальной навигации. Устройство включает шестиосный гироскоп для определения перемещения и трехосный магнитометр. Приведены блок-схема устройства и схема обработки сигналов.

В патенте США № US 2017089706 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, спутниковый приемник, радар.

Навигационная система летательного аппарата, содержащая магнитометр для определения величины и направления магнитного поля, описывается в патенте США № US 2017110015.

Изобретение, предложенное в патенте Китая № CN 106595653, 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 и датчик давления. Инерциальное измерительное устройство содержит трехосные акселерометр и гироскоп. Пять сенсорных модулей воспринимают навигационную информацию и передают ее процессорному модулю.

В патенте США № US 2017234685 предложены аппаратура и метод для определения внешних объектов (по отношению к летательному аппарату), 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 изменение интенсивности магнитного поля вдоль направления движения при отсутствии внешних объектов и при их наличии. Прибор для измерения магнитного поля не конкретизируется.

В изобретении патента США № US 2018009527 представлены устройство и метод магнитной навигации беспилотного автономного летательного аппарата, основанные на определении направления и величины магнитного поля от неподвижного объекта. Устройство содержит два процессора: первый – основной, управляющий полетом, и второй – навигационный с 3D-сенсорами магнитного поля, в качестве которых могут применяться оптические сенсоры, радиосенсоры, проволочные катушки и др. Процессор может фильтровать магнитные поля (в частности, магнитное поле Земли), не относящиеся к сигнальным характеристикам объекта. Управляющий полетом процессор обеспечивает маневрирование летательного аппарата: выравнивание на одну линию с объектом, приближение к объекту или удаление от него.

В патенте Китая № CN 107504963 изобретением является метод коррекции основных погрешностей магнитного компаса и навигационных ошибок автономного беспилотного подводного аппарата. Метод включает следующие этапы: обеспечение головного курса в текущий момент времени, определение отклонения от головного курса путем анализа интерференционной картины от помехонесущих магнитных полей. В патенте приведен алгоритм определения угловых координат позиционирования. Метод обеспечивает оперативное управление подводным автономным аппаратом и улучшение надежности коррекции ошибок навигации.

Патент Китая № CN 107525523 представляет метод применения спутниковой навигации для узкополосной инерциальной навигационной системы. Использование спутниковой навигации оказывает помощь узкополосной инерциальной навигационной системе для обеспечения первоначального направления. Спутниковое навигационное устройство определяет азимутальные углы, в соответствии с которыми инерциальная навигационная система и осуществляет корректировку направления движения.

В патенте Китая № CN 107526358 предлагается чувствительное магнитное навигационное устройство, включающее магнитный индукционный модуль, индикаторный видеомодуль и модуль управления. Магнитный модуль индуцирует сигнал и подает его на модуль управления, передающий сигнал на индикаторный модуль, который позволяет судить о магнитном состояни объекта. Устройство является миниатюрным, характеризуется простотой схем модулей и низкой стоимостью.

В патенте России № RU 2635820 представлен способ коррекции бесплатформенной инерциальной навигационной системы. Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано для морских, воздушных и наземных объектов. Задачей изобретения является повышение точности бесплатформенной навигационной инерциальной системы (БИНС) путем создания способа непрерывной автономной коррекции углов курса, тангажа и крена подвижного объекта. Благодаря предлагаемому способу коррекции БИНС происходит списание остаточной полукруговой и четвертной девиации магнитометрического датчика, повышается точность оценивания углов магнитного курса, крена и тангажа, причем значение магнитного курса не содержит ошибки, обусловленной аномальными магнитными полями. В результате зависимость маятниковой коррекции от вида движения объекта ослабляется до уровня, позволяющего использовать датчики угловой скорости (ДУС) средней и низкой точности, в том числе микромеханического типа. По измерениям ДУС и датчиков линейного ускорения трехосного магнитометра оценивается состояние объекта. В патенте приводится подробное математическое обоснование предложенного метода коррекции. Способ нечувствителен к кратковременным магнитным аномалиям магнитного поля Земли.

Полезная модель (Китай № CN 206563806) представляет собой комбинированную навигационную систему, состоящую из спутниковой системы и магнитометра, беспилотного воздушного летательного аппарата на единственном чипе. Навигационная система включает модули:

* трехосный магнитный измерительный;
* одночиповый;
* стабилизации напряжения;
* коммуникационные (два);
* ввода питания (5 В),

а также контроллер, *GPS* керамическую антенну, *GPS* резервную батарею, интерфейс *GPS* конфигурации.

К преимуществам полезной модели относятся миниатюрность, высокая точность позиционирования и курса, высокая стабильность частоты, малое потребление электроэнергии, низкая стоимость.

В патенте Китая № CN 107091998 изобретением является магнитный датчик для магнитной навигации беспилотного летательного аппарата. Датчик содержит магниторезистивный сенсорный чип, усилительную схему, микропроцессор. Такой датчик имеет высокие точность позиционирования и надежность, низкую стоимость и может использоваться для промышленного применения беспилотного летательного аппарата с магнитной навигацией.

Из анализа приведенной выше патентной информации следует, что приоритетным направлением развития геомагнитной навигации является создание навигационных систем комбинированного типа, использующих магнитные навигационные системы как дублирующие или запасные по отношению к блоку спутниковой навигации. Существеная роль в повышении точности геомагнитной навигации принадлежит методам обработки измерительной информации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Игнатьев 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 Сарат. ун-та, 2008. Вып. 5 : Прикладные аспекты микро- и наноэлектроники. С. 104–112.
2. *Игнатьев 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 Сарат. ун-та, 2012. Вып. 12 : Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Методические аспекты физического образования. Экономика в промышленности. С. 76–94.
3. *Игнатьев А. А*., *Кудрявцева С. П.*, *Романченко Л. А.* Устройства для магнитной навигации (обзор патентов) // Гетеромагнитная микроэлектроника : сб. науч. тр. Саратов : Изд-во ОАО «Институт критических технологий», 2017. Вып. 22 : Теоретические и экспериментальные исследования, компьютерные технологии. Методические аспекты физического образования. Экономика в промышленности. С. 32–35.
4. *Игнатьев 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 Сарат. ун-та, 2012. Вып. 12 : Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Методические аспекты физического образования. Экономика в промышленности. С. 38–40.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФИЗИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

УДК 539.1.08

**МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ**

**КОЭФФИЦИЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ**

**Л. А. Романченко, К. П. Кочуганова**

Саратовский национальный исследовательский

государственный университет имени Н. Г. Чернышевского

Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83

E-mail: lari\_rrr@mail.ru

В статье представлены три метода определения коэффициента поверхностного натяжения жидкости в общем физическом практикуме при изучении дисциплины «Молекулярная физика». Проведено сравнение этих методов по сложности их выполнения.

*Ключевые слова*: поверхностное натяжение жидкости, физический практикум.

**Methods for Determining of Liquid Surface Tension Coefficient**

**L. A. Romanchenko, K. P. Kochuganova**

In the article there are presented three methods for determining of liquid surface tension coefficient in the general physical laboratory practice when studying discipline “Molecular physics”. The methods are compared in complexity of the execution.

*Key words*: liquid surface tension, physical laboratory practice.

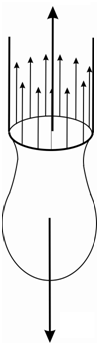
Обучение студентов естественнонаучных факультетов включает обязательное изучение физики, в том числе раздела «Молекулярная физика». В рамках этого раздела изучается явление поверхностного натяжения жидкостей и предусмотрено выполнение лабораторной работы [1–3]. В статье приведены три метода определения коэффициента поверхностного натяжения жидкости и проведено их сравнение по сложности их выполнения.

*Определение коэффициента*

*поверхностного натяжения жидкости методом капель*

В основе метода капель лежит явление образования капли на конце капилляра и ее отрыв от него. Вытеканию жидкости из капилляра препятствует поверхностная пленка, затягивающая отверстие. Под действием силы тяжести капли пленка прогибается, растягивается и увеличивается, стремясь приобрести сферическую форму (рис. 1).

В некоторый момент у капли появляется перетяжка («шейка»), радиус которой можно приблизительно считать равным радиусу капилляра. По окружности этой перетяжки действуют силы поверхностного натяжения, препятствующие отрыву капли. Эти силы направлены по касательной к поверхности жидкости и перпендикулярно границе перетяжки, т. е. вертикально вверх. Равнодействующую этих сил ввиду симметричной формы контура можно считать приложенной в центре сечения «шейки». Силу поверхностного натяжения при отрыве капли можно вычислить, зная радиус перетяжки:



*m***g**

**F**н

Рис. 1. Образование капли

|  |  |
| --- | --- |
| *F*н *=* 2π*r*α, | (1) |

где *r* – радиус перетяжки; 2π*r* – длина окружности перетяжки; α – коэффициент поверхностного натяжения жидкости. В момент отрыва капли сила тяжести *mg* и сила поверхностного натяжения *F*нравны по модулю:

|  |  |
| --- | --- |
| 2π*r*α = *mg*, | (2) |

тогда .

Таким образом, зная массу капли *m* и радиус перетяжки *r*, можно определить коэффициент поверхностного натяжения жидкости. Однако измерить радиус перетяжки в учебной лаборатории достаточно сложно, поэтому на практике часто пользуются методом сравнения коэффициентов поверхностного натяжения двух жидкостей – исследуемой и эталонной, коэффициент поверхностного натяжения которой уже известен. В качестве эталонной жидкости обычно используют дистиллированную воду, для которой выражение (2) можно записать следующим образом:

|  |  |
| --- | --- |
| 2π*r*0α0 = *m*0 *g*, | (3) |

где *r*0, α0 и *m*0 – радиус перетяжки капли, коэффициент поверхностного натяжения и масса одной капли эталонной жидкости соответственно.

Можно считать, что радиусы перетяжек капель исследуемой и эталонной жидкостей равны (*r* = *r*0). Поделив почленно (2) на (3), получим

.

Тогда выражение для расчета коэффициента поверхностного натяжения исследуемой жидкости примет вид:

|  |  |
| --- | --- |
| . | (4) |

В состав оборудования для выполнения лабораторной работы «Определение коэффициента поверхностного натяжения жидкости методом капель» входят капельница с возможностью регулировки скорости отрыва жидкости, 3 стаканчика, аналитические весы и набор разновесов.

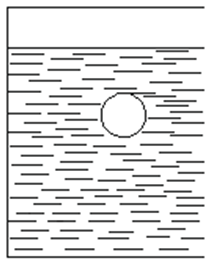
*Определение коэффициента поверхностного натяжения*

*методом газовых пузырьков* (*при постоянной температуре*)

В основе данного метода лежит условие равновесия давлений внутри газового пузырька и снаружи.

Если в сосуде с жидкостью плотностью ρ на глубине *D* (рис. 2) находится газовый пузырек, который не изменяет свой объем (выполняется условие равновесия), то давление *p* внутри пузырька равно давлению снаружи:

|  |  |
| --- | --- |
| *p* = *p*1+ *p*2+ *p*3, | (5) |



*D*

Рис. 2. Газовый пузырек внутри жидкости

где *p*1 – атмосферное давление; *p*2 = ρ*gD* – давление столба жидкости над пузырьком; *p*3 – добавочное давление, возникающее под искривленной поверхностью, которое стремится сжать пузырек.

Используя формулу Лапласа [4], добавочное давление под искривленной поверхностью для сферического пузырька можно рассчитать по формуле

,

где α – коэффициент поверхностного натяжения жидкости; *R* – радиус пузырька.

Тогда  и

|  |  |
| --- | --- |
| . | (6) |

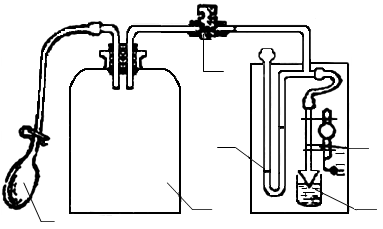
Общий вид и схема установки для определения коэффициента поверхностного натяжения методом газовых пузырьков представлены на рис. 3. Дополнительное оборудование – стаканчики, ручной насос (или груша), зажим.

В горлышко баллона *6* вставлена пробка с двумя трубками диаметром 6–10 мм. Все соединения герметизированы. Во время выполнения задания к одной из трубок присоединяют резиновую грушу *1* или ручной насос. У второй трубки имеется стеклянный кран *2*, к которому присоединены параллельно капиллярная трубка *3* и *U*-образный дифференциальный манометр *5*. Глубина погружения капилляра в жидкость отмечается по миллиметровой шкале, расположенной рядом с капилляром. Исследуемая жидкость наливается в стаканчик *4*. Трубка *3* опускается в стаканчик так, чтобы конец капилляра оказался погруженным в жидкость на несколько миллиметров. В баллон *6* с помощью груши накачивают воздух. Затем открывают кран *2* настолько, чтобы из капилляра в жидкость начали поступать отдельные пузырьки газа. В момент отрыва пузырька выполняется условие равновесия (5). Манометр *5* дает возможность определить, насколько давление внутри пузырька *p* превышает атмосферное *p*1:

*p* – *p*1 = *ℓ*ρ1*g*,

где *ℓ –* перепад уровней в коленах манометра; ρ1 – плотность манометрической жидкости. С учетом этого формулу (6) можно записать следующим образом:

|  |  |
| --- | --- |
| . | (7) |



*1*

*6*

*4*

*3*

*5*

*2*

*а*

*б*

Рис. 3. Лабораторная установка для определения коэффициента поверхностного натяжения методом газовых пузырьков: *а –* общий вид; *б* *–* схема установки: *1* – резиновая груша; *2* *–* стеклянный кран; *3* *–* капиллярная трубка; *5* *–* *U*-образный дифференциальный манометр; *6* *–* стеклянный баллон емкостью 10–15 л

Входящий в рабочую формулу радиус пузырька *R* трудно измерить непосредственно. Поэтому его значение определяют, используя эталонную жидкость с известным коэффициентом поверхностного натяжения α0. При таком определении *R* метод следует считать относительным.

Работа выполняется в два этапа. Сначала определяется радиус газового пузырька, а затем – коэффициент поверхностного натяжения исследуемой жидкости.

*Метод отрыва кольца*

Определение поверхностного натяжения методом отрыва кольца сводится к измерению силы *F*, необходимой для отрыва проволочного кольца от поверхности жидкости. Сила поверхностного натяжения определяется в этом случае по формуле



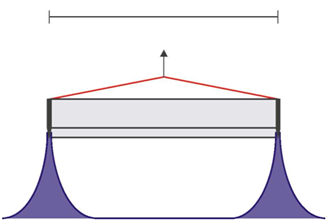
где *R*' – внутренний радиус кольца; *R* – средний радиус кольца; *r* – радиус проволоки, из которой изготовлено кольцо (*r* << *R*).

Данное соотношение справедливо только в том случае, когда вместе с кольцом поднимается и столбик жидкости в виде полого цилиндра правильной формы. Поэтому одним из основных условий для этого метода является полное смачивание кольца при погружении.

При проведении эксперимента металлическое кольцо с острой нижней кромкой свисает в горизонтальном положении с точного динамометра (рис. 4). Сначала кольцо полностью погружено в исследуемую жидкость, затем оно медленно извлекается из жидкости до полного отрыва.

*а*

*б*



2*R*

*F*



Рис. 4. Внешний вид установки (*а*) и схема опыта (*б*)

Сила Архимеда мала, поэтому ее действием можно пренебречь. Тогда коэффициент поверхностного натяжения в данной работе можно рассчитать по формуле

|  |  |
| --- | --- |
| , | (8) |

где *F*1 – показания динамометра при полном погружении кольца; *F*2 – показания динамометра в момент отрыва кольца.

Необходимое оборудование для проведения эксперимента методом отрыва кольца – прецизионный динамометр с точностью до 0,05 Н, легкое кольцо на нитях, емкость для его погружения. Равномерность отрыва кольца от поверхности жидкости обеспечивает подъемный механизм.

Наиболее сложным из всех рассмотренных методов является метод газовых пузырьков, так как для его проведения необходимо наличие специального оборудования. Кроме того, для расчета коэффициента поверхностного натяжения сначала необходимо определить радиус капилляра, пользуясь эталонной жидкостью. В случае неточного экспериментального определения радиуса капилляра автоматически снижается и точность определения коэффициента поверхностного натяжения исследуемой жидкости. Во время проведения данного эксперимента необходимо очень плавно и аккуратно открывать кран, регулирующий выход пузырька в жидкость, чтобы из капилляра в жидкость выходил один пузырек, а не струя воздуха. На практике осуществить такое достаточно сложно и требуется время, чтобы студент научился открывать кран так, как того требует эксперимент. Однако такой способ определения коэффициента поверхностного натяжения интересен, и при удачном выполнении дает студенту чувство удовлетворения от проделанной сложной работы, тем самым повышая его мотивацию к обучению.

Метод отрыва кольца по сложности выполнения занимает второе место, так как для его реализации экспериментатору необходимо иметь очень точный и высокочувствительный динамометр и очень тонкое кольцо с высокой точностью обработки поверхности. Подвешивание кольца осуществляется с помощью невесомых нитей, продетых в специальные симметрично расположенные отверстия на его стенках, при этом положение кольца должно быть строго горизонтальным. Если подъемный механизм, обеспечивающий равномерность отрыва кольца, отсутствует в лаборатории, то можно и вручную равномерно поднимать динамометр с кольцом, но точность эксперимента от этого будет несколько снижена.

Метод капель является самым простым из трех описанных в статье. Для проведения эксперимента необходима капельница, стаканчики или другая лабораторная посуда, весы и секундомер. Все это легко можно найти в любой физической лаборатории. Проведение эксперимента не требует специальных условий. Расчет по рабочей формуле также очень прост, что позволяет быстро оценить результат.

Лабораторные работы, основанные на приведенных в статье методах определения коэффициента поверхностного натяжения жидкости, могут использоватья в учебном процессе для обучения студентов естественнонаучных направлений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Романченко Л. А.*, *Малярчук В. А*. Физический практикум. Термодинамика и молекулярная физика : учеб.-метод. пособие для студентов физического и других естественных факультетов : в 2 ч. / под ред. проф. А. А. Игнатьева. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2012. Ч. 1. С. 12–23.
2. *Осовская И. И*., *Демьянцева Е. Ю*., *Андранович О. С.* Определение поверхностного натяжения методом отрыва кольца Дю-Нуи : учеб.-метод. пособие. СПб. : Изд-во ВШТЭ СПбГУПТД. 2016. 24 с.
3. *Романченко* *Л. А.* Об опыте повышения качества знаний по дисциплине «Физика» в рамках направления «Техносферная безопасность» // Качество педагогического образования : методология, теория и практика : сб. науч. тр. десятой междунар. заочн. науч.-метод. конф. Саратов : Изд-во СРОО «Центр "Просвещение"», 2014. С. 196–198.
4. *Савельев И. В.* Курс общей физики для втузов : в 5 т. Т. 3 : Молекулярная физика и термодинамика. М. : КноРус, 2009. 208 с.

**ЭКОНОМИКА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

УДК 332.143

**состояние и перспективы развития Инновационной**

**деятельности в Саратовской области**

**О. В. Краснова**

Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю. А.

Россия, 410054, Саратов, Политехническая, 77

E-mail: krasnovaov760831@mail.ru

Статья посвящена анализу инновационной деятельности в Саратовской области в период с 2010 г. по 2016 г. Приводятся количественные и качественные характеристики показателей инновационной деятельности, предлагаются направления эффективного управления инновационной деятельностью области в будущем.

*Ключевые слова*: инновационная деятельность, инновационная активность, инновационный продукт и услуга, инновационный проект.

**Status and Prospects of Development of Innovative**

**Activities in the Saratov Region**

**O. V. Krasnova**

The article is devoted to the analysis of innovative activity of the Saratov region in the period from 2010 to 2016. Quantitative and qualitative characteristics of the innovation activity indicators are presented, and directions for effective management of the region's innovative activity are proposed in the future.

*Key words*: innovation activity, innovative activity, innovative product and service, innovative project.

В последнее десятилетие инновационная деятельность субъектов Российской Федерации претерпела существенные изменения, которые также произошли и в Саратовской области.

В качестве временного интервала для исследования инновационной деятельности в Саратовской области были выбраны 2010–2016 гг. – нелегкий период мирового финансового кризиса, а также западных санкций, направленных на ослабление мировых экономических позиций России.

Для проведения аналитического исследования были выбраны следующие показатели:

* численность персонала, занятого научными исследованиями и разработками;
* численность исследователей, имеющих ученую степень;
* поступление патентных заявок и охранных документов;
* внутренние затраты на научные исследования и разработки;
* количество разработанных передовых производственных технологий;
* используемые передовые производственные технологии;
* используемые объекты интеллектуальной собственности;
* инновационная активность организаций;
* объем инновационных товаров, работ, услуг.

За исследуемый период численность персонала, занятого научными исследованиями и разработками в Саратовской области, увеличилась на 7,66% (6 место из 14 областей Поволжского федерального округа) [1]. Это говорит об увеличении контингента ученых способных генерировать новые научные идеи и создавать инновационные продукты и услуги.

За этот же период численность исследователей, имеющих ученую степень, в Саратовской области значительно изменилась и увеличилась на 46%, что поставило область на 4 место в Приволжском федеральном округе (ПФО). В частности, численность докторов наук увеличилась на 23,6%, кандидатов наук – на 54,3% [1].

Поступление патентных заявок и охранных документов в Саратовской области в 2016 г. по отношению к 2010 г. изменилось следующим образом: на изобретения подано на 38,4% меньше и выдано на 34,6% меньше; на полезные модели подано на 6,8% меньше и выдано на 25% меньше; на промышленные образцы подано на 20% больше и выдано на 13% меньше [1]. Увеличение поданных и выданных заявок на полезные модели указывает на увеличение спроса на такие виды инновационных продуктов, что вполне объяснимо, так как любой покупатель уникального продукта желает получить готовый образец.

В Саратовской области с 2010 г. по 2016 г. выросли почти на половину внутренние затраты на научные исследования и разработки, а в рейтинге по ПФО область вышла на 7 место, что говорит о дотационном характере привлеченных средств.

По количеству разработанных передовых производственных технологий область занимает 6 место в ПФО. Но в 2016 г. по сравнению с 2010 г. произошло снижение этого показателя на 29,4% [1]. Последнее указывает на имеющиеся в области проблемы структурного характера и отсутствие последовательной инновационной политики, способной усовершенствовать инновационный процесс на предприятиях области.

Количество используемых в области передовых производственных технологий, повышающих качество производственных процессов на предприятиях, увеличилось на 27,4% [1].

Использование объектов интеллектуальной собственности по ее видам имеет следующую динамику в 2016 г. по отношению к 2010 г.: изобретений – снизилось на 4,4%, полезных моделей – снизилось на 13%, промышленных образцов – увеличилось на 38,5%, баз данных – увеличилось на 100%, программ для ЭВМ – увеличилось на 837,5% [1], топологий интегральных микросхем – равно нулю (никогда не использовалось в Саратовской области). Такая динамика характерна для развития цифровой экономики в области и, к сожалению, показывает отсутствие или низкое развитие определенных видов деятельности.

Инновационная активность организаций (удельный вес организаций, осуществлявших технологические, организационные, маркетинговые инновации в отчетном году, в общем числе обследованных организаций) в Саратовской области снизилась с 6,4 до 4,8% от общего объема организаций других областей [1], что можно интерпретировать двояко: произошло уменьшение количества организаций в области или увеличение их количества в других областях

Объем инновационных товаров, работ, услуг за исследуемый период увеличился на 80,6%, что говорит об успешной адаптации новых продуктов в производстве и реализации местными организациями [1].

До 2010 г. инновационный рейтинг Саратовской области был достаточно высок, что отражено в базовом докладе о национальной инновационной системе и государственной инновационной политике, опубликованном Министерством образования и науки РФ [2].

В докладе Саратовская область вместе с Ульяновской, Томской, Новосибирской, Тульской, Омкой областями и Республикой Башкортостан была отнесена к группе регионов с недостаточно реализованным интеллектуальным потенциалом. Данное обобщение было сделано по результатам анализа нескольких показателей: вывод инновационной продукции на рынок, индекса инновационности, который характеризует наличие человеческого потенциала для ведения инновационной деятельности, а также распространения новых знаний.

Саратовская область в 2009 г. была оценена национальной ассоциацией инноваций и развития информационных технологий по ряду показателей, влияющих на состояние инновационного портфеля мезоэкономической системы, как регион, имеющий наибольший уровень инновационной активности, так же как Московская область, Санкт-Петербург, Татарстан и несколько других передовых городов и областей РФ.

Если же качественно оценить перспективность инновационных направлений деятельности области, то можно подчеркнуть следующее. Крупный бизнес, принципиально важно отметить, уже пришел к пониманию того, что инновация – не просто модный термин, а способ существенно увеличить свой доход. Это и является основной мотивацией к инновационным преобразованиям. В свою очередь, как федеральным, так и региональным законодательством на сегодняшний день создана благотворная почва для реализации крупных инвестиционно-инновационных проектов. Например, инновационные энергосберегающие технологии активно внедряются на Балаковской АЭС. Получаемая прибыль от этих мероприятий составляет порядка 20 млн руб. в месяц. ООО «СНВ» и ООО «Аргон» (г. Саратов) реализуют проект по разработке современных технологий производства углеродных волокнистых материалов и полиакрилонитрильных волокон, которые используются для обшивки самолетов и ракетных комплексов. Это материалы нового поколения, не уступающие зарубежным аналогам. Активно реализуются инновационные проекты в нефтегазодобывающем и газотранспортном секторах, а также в других отраслях промышленности.

Также важна законодательная поддержка инновационной деятельности предприятий области на мезоуровне. Поддерживающие меры для стратегических инноваторов заключаются в создании для них благоприятной инвестиционной среды. Для этого региональное инвестиционное законодательство предусматривает льготы по налогам на прибыль, имущество организаций, транспортному налогу. Например, в прошлом году объем предоставленных налоговых льгот на реализацию инновационных проектов по налогу на имущество организаций по ставке 0,1% составил около 27,5 млн руб. В частности, льготы получили АО «Саратовстройстекло» (г. Саратов), ОАО «Завод Металлоконструкций» (г. Энгельс), ООО «БалЭнергоМаш» (г. Балаково).

Самым большим удельным весом затрат на инновации отличаются отрасли машиностроения и оборонно-промышленного комплекса, где производится наиболее высокотехнологичная продукция. Это предприятия г. Саратова ФГУП НПП «Алмаз», ОАО «НПП Контакт», ПО «Корпус» (филиал ФГУП «НПЦ АП имени Н. А. Пилюгина»), ФГУП «Базальт», АО «ЦНИИИА», АО НПЦ «Алмаз-Фазотрон» и др. Для этой группы инновационно-активных предприятий инструментом государственного управления инновациями являются федеральные целевые программы (ФЦП). В настоящий момент в Саратовской области реализуется 7 из 10 ФЦП инновационной направленности. Объем федеральных средств, привлеченных в область в рамках этой работы, за последние три года (2015–2017 гг.) увеличился в 11 раз. Например, по программе «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники на 2008–2015 годы» промпредприятиями региона получено более 172,75 млн руб. Предприятия Саратовской области принимают активное участие в таких программах как «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в РФ», «Федеральная космическая программа», «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России» и др., причем по объемам привлеченных средств показатели Саратовской области одни из лучших в ПФО наряду с Нижегородской, Пензенской областями и Пермским краем.

Кроме того, правительство области активно взаимодействует с федеральными институтами развития – Российской венчурной компанией, ГК «Ростехнологии», ГК «Роснано». Так, управляющая компания «Навигатор» аккредитовалась как региональный партнер Фонда посевных инвестиций Российской венчурной компании. В настоящее время завершается конкурс по отбору проектов на «посевной» (начальной) стадии развития для финансирования. Совместно с ГК «Ростехнологии» определен перечень предприятий, на базе которых в губернии уже активно создается научно-производственный комплекс по СВЧ-электронике.

Предприятия малого инновационного бизнеса получают поддержку в рамках конкурса инвестпроектов. Она предоставляется в виде компенсаций части затрат на реализацию научно-технических разработок и составляет до 80% стоимости НИОКР. Такую поддержку получили, например, предприятия г. Саратова АО «Биоамид», АО «Иниус», ЗАО «Кантегир». Разработанная продукция и технологии этих предприятий активно используются не только на предприятиях Саратова, России, но и за рубежом [3].

Исследование инновационной деятельности на примере Саратовской области было проведено по нескольким показателям и позволило выявить «проблемные зоны» области, такие как наличие слабых кооперативных связей между предприятиями области и за ее пределами, низкая инвестиционная активность предпринимателей и отсутствие налаженных взаимоотношений региональных органов власти с местными организациями большого, среднего и малого бизнеса.

Представленный анализ инновационной деятельности в Саратовской области показывает необходимость проведения мероприятий по совершенствованию на мезоуровне политики в сфере науки и инноваций. Для реализации этих мероприятий особое внимание стоит уделить инвестиционному климату в регионе, развитию региональной промышленности и кооперативных связей как внутри области, так и за ее пределами, мониторингу соотношения и применения федеральных профессиональных и образовательных стандартов в области, налаживанию более тесных взаимоотношений региональных органов власти с местными организациями большого, среднего и малого бизнеса, финансовой сферы, образовательных, консалтинговых и аудиторских услуг. Необходимо также провести в регионе мероприятия по планированию инновационной деятельности на стратегическую перспективу. С целью более эффективного проведения региональных инновационных реформ необходимо усовершенствовать систему управления инновационного портфеля мезоэкономической системы и функциональное распределение обязанностей ее участников.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Официальная статистика : Наука, инновации и информационное общество 2010–2016 гг. URL : http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\_main/rosstat/ru/statistics/ science\_and\_innovatios/ (дата обращения : 26.01.2018).
2. Национальная инновационная система и государственная инновационная политика Российской Федерации : базовый доклад к обзору ОЭСР национальной инновационной системы РФ. 2009 г. URL : http://window.edu.ru/resource/728/64728 (дата обращения : 27.01.2018).
3. Высокие технологии – перезагрузка экономики : интервью с Горшениным К. В. // Известия. Саратов : интернет-изд. 24.11.2010. URL : www.izvestia64.ru/articles/986.html (дата обращения : 29.01.2018).

УДК 005.519.6; 620.9:662.6

**ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ**

**К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ**

**А. Н. Плотников, Д. А. Плотников, А. В. Кошкарев**

Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю. А.

Россия, 410054, Саратов, Политехническая, 77

E-mail: a.n.plotnikov@mail.ru

Статья посвящена проблемам в области энергосбережения на высокотехнологичных инновационных предприятиях. Проведены исследования возможных способов минимизации предприятием энергетических затрат с использованием инновационных решений.

*Ключевые слова*: энергоресурс, нормативный ограничитель, единая стратегия, программно-целевой подход, механизм регулирования, энергорынок, программа энергосбережения, система мониторинга, отчет об исполнении проектов.

**Innovative Approaches to the Use of Energy Resources at Enterprise**

**A. N. Plotnikov**, **D. A. Plotnikov, A. V. Koshkarev**

The article is devoted to the research of problems and their solutions in the field of energy saving at high-tech innovative enterprises. Investigations of possible ways of minimization of energy costs by the enterprise with use of innovative decisions are carried out.

*Key words*: energy resource, regulatory constraint, unified strategy, program-targeted approach, regulatory mechanism, energy market, energy conservation program, monitoring system, project performance report.

В условиях применения радикальных инноваций упаковка, хранение, доставка и применение производимого продукта требуют принципиальных изменений. Но соблюдение требований, которые, наряду с преимуществами внедряемых новшеств, влекут за собой косвенные затраты, обусловленные трансформацией инфраструктуры. В конечном итоге это сдерживает быстрое и успешное внедрение новшества.

Внедряя инновационное производство любое предприятие сталкивается с необходимостью преобразования своего энергетического хозяйства. Для этого предприятию необходимо изменять свой топливно-энергетический баланс, либо модифицировать способы и режимы использования топливно-энергетических ресурсов. Опыт показывает, что чем более радикальные инновации внедряются, в том числе в части технологического оборудования, тем в большей степени необходима адаптация к этим преобразованиям энергетического блока предприятия. Но те или иные инновационные стратегии на предприятии в различной степени могут быть пригодны для реализации энергосберегающих проектов. Вместе с тем реализация политики энергосбережения и повышения энергоэффективности производства на предприятии также может оказать влияние на его инновационную стратегию. Если предприятие ставит в качестве предпочтительной задачи энергосбережение, то это чревато снижением эффективности производства, и, как следствие, финансовой несостоятельностью предприятия. Поэтому оно должно стремиться не столько к прямым результатам энергосбережения, сколько к получению синергетического эффекта от всей производственно-хозяйственной деятельности, включая вклад предприятия в формирование федеральных и региональных доходов. Таким образом, государство и регионы заинтересованы в инновационном развитии отечественных предприятий, поскольку такое развитие приводит к дополнительному народнохозяйственному эффекту.

Общепринято, что перспективное развитие предприятия определяется происходящими в нем инновационными процессами. Поэтому государство должно постоянно осуществлять контроль за этими процессами и эффективно воздействовать на них. С этой целью государство должно широко применять разнообразные меры, направленные на стимулирование инновационной деятельности предприятий. К таким мерам, имеющим законодательный, финансовый, налоговый характер, следует отнести, в частности, использование различных механизмов стимулирования и поддержки малых предприятий. Причем, государство должно поддерживать такие малые предприятия, которые специализируются на выполнении, прежде всего, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР).

Не помешает сотрудничество инновационных малых предприятий с крупными предприятиями, высшими учебными заведениями и исследовательскими центрами, которое, как правило, должно носить организационный, консультационный и научно-технический характер. Такое сотрудничество и взаимодействие будут способствовать более быстрой реализации инновационных разработок и их дальнейшей успешной промышленной коммерциализации.

В целях достижения эффективной реализации стратегии энергосбережения на государственном уровне используются следующие инструменты, направленные на стимулирование инновационного климата:

* создание специальных программ на конкурсной основе, направленных на поддержку малых инновационных предприятий, которые работают по государственной научно-технической тематике;
* прямое инвестирование в инновационные проекты в виде субсидий и займов, которые покрывают до 50% расходов, требуемых для реализации новой продукции или технологий;
* предоставление ссуд государством, включая беспроцентные;
* бюджетные дотации;
* деятельность фондов, направленных на внедрение инноваций с учетом возможных рисков;
* деятельность инвестиционных и венчурных фондов, направленная на финансирование инновационных проектов;
* предоставление безвозмездных займов (покрывающих до 50% затрат), направленных на внедрение новшеств;
* уменьшение госпошлин для индивидуальных изобретателей;
* отсрочка уплаты пошлин либо освобождение от нее в том случае, если изобретение касается энергосбережения;
* льготы и преференции малым инновационным предприятиям, которые образованы на базе НИИ или университетов;
* льготные условия для получения услуг патентных поверенных по заявкам и бесплатное ведение делопроизводства для индивидуальных изобретателей.

К существенным финансовым инструментам, которые поддерживают малые предприятия, занимающиеся инновационной деятельностью, относятся госзаказы на поставки материально-технических ресурсов и контракты, заключенные с государственными учреждениями на проведение НИОКР.

Государственные контракты в обязательном порядке предусматривают важные требования, мобилизующие исполнителя:

* решение поставленной научно-технической задачи в течение установленного срока;
* предоставление заказчиком кредитования, необходимого исполнителю на весь срок выполнения поставленной задачи;
* получение исполнителем гарантий приобретения будущих результатов проведенной им работы.

Стимулирование инновационных методов повышения энергоэффективности должно способствовать общему улучшению инновационного климата, проведению структурной перестройки и повышению конкурентных возможностей организации.

При проведениианализа сложившейся практики стимулирования повышения энергоэффективности [1], видно, что для получения максимального коммерческого эффекта при реализации мероприятий, направленных на снижение энергопотребления и достижение значительного народнохозяйственного эффекта, необходимо внедрение комплексных системучета и регулирования количества потребляемой энергии, которые должны не только соблюдать общий стратегический подход при подборе частных технических решений, но и выбирать менее ресурсоемкие, целесообразные с точки зрения получения глобального экономического эффекта меры.

Следовательно, в рамках единой стратегии государства и намеченных организациями стратегических целей руководитель должен максимально полно реализовать энергосбережение при помощи трех тактических приемов:

* использовать стандартизированные (типовые) технологические и технические меры;
* осуществить комплексную программу развития внутри предприятия;
* улучшенить основное производство при помощи инновационных разработок с целью достижения более высокой энергоэффективности, заложенной в новой технологии.

Если рассматривать долговременную программу инновационных преобразований с позициипрограммно-целевого подхода, то в ней должны содержаться количественно определенные задачи, системные ограничения, поименованные заказчики и исполнители, а также она должна быть обеспечена необходимыми ресурсами и механизмом взаимодействия участников, который стимулирует их заинтересованность и согласованность в достижении целей программы, в том числе Государственной программы Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 г.» [2].Система мероприятийдля стимулирования энергосбережения, изложенная в Федеральном законе (ФЗ) [3], представлена в таблице.

**Система мероприятий, направленных на стимулирование энергосбережения**

**в организации с позиций программно-целевого подхода**

|  |  |
| --- | --- |
| Мероприятия | Статья в ФЗ РФ |
| **Ограничительные**  верхние (допустимый максимум)  нижние (необходимый минимум) | 24 (п. 2), 27 (п. 4), 27 (п. 7)  8 (п. 4)  10 (п. 8) |
| **Оптимизирующие** ресурсопотребление и результаты мер, направленных на реализацию цели | 8 (п. 8), 12 (п. 8) |
| **Обязывающие** (обеспечить) | 4 (п. 7), 8 (п. 9), 7 (п. 4) |
| **Запрещающие** (нарушать) | 9 (п. 2), 10 (п. 8) |
| **Разрешающие** (на усмотрение исполнителя) | 18 (п. 3), 25 п. 8 |
| **Гарантирующие** (полномочия, поддержку государственных структур) | 25 (п. 7), 25 (п. 8) |
| **Компенсирующие** (затраты, ущерб) | 25 (п. 6) |
| **Информирующие** (базы данных) исполнителей,  органов контроля и общественного надзора | 6 (п. 4), 27 (п. 2), 7 (п. 5)  8 (п. 3), 22, 23 |
| **Именующие** источники и количество ресурсов | 27 (пп. 2, 3) |
| **Отмечающие** количество и график получения результатов | 13 (п. 6), 13 (п. 9), 14 (п. 4) |
| **Определяющие**  способы *взаимодействия* исполнителя и заказчика  способы *энергосервисных контрактов*  **э**кономический *механизм* реализации программы  условия *создания энергорынка* | 7 (п. 6), 12 (п. 4), 25 (п. 9)  19  24 (п. 2), 27  20 |

Следует обратить внимание на необходимый дуализм стимулирующих мероприятий: поощряющие–порицающие, дотирующие–штрафующие.

Известно, что стимулирование в одностороннем порядке (только поощрение) является ущербным, так как оно ограничено имеющимися ресурсами руководителя и ценностной системой исполнителя. Только порицание (принуждение) нейтрализует творческие порывы исполнителя, низводит его старания до минимально необходимого уровня.

Такая система служит для обеспечения полноты необходимости и достаточности воздействий на исполнителей программы, активности и согласованности усилий, приложенных участниками программ, которые применяются не альтернативно, а дополнительно в составе системы мероприятий. Вычисление косвенного народнохозяйственного (регионального) эффекта, который обеспечивается предприятием в результате осуществления намеченных мероприятий, затруднительно. Усредненные статистические данные, однако, отражают высокую бюджетную эффективность государственной поддержки инновационной активности предприятий, включающих в сферу своей деятельности мероприятия по повышению энергоэффективности.

Механизмы регулирования использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) довольно широко рассматриваются в научных публикациях [4]. Разница между регулируемыми и рыночными ценами ТЭР раскрывает величину объективно неизбежных издержек, важную роль топливной составляющей в государственной экономике: чем больше разница, тем более эффективно (экономически целесообразно) увеличение электрогенерирующих мощностей, а также обеспечивающей их инфраструктуры, тем выше маржинальная прибыль энергетической составляющей в валовом внутреннем продукте (ВВП) государства.

Небольшое различие между регулируемыми и свободными ценами на ТЭР в любом случае означает достаточную обеспеченность производства либо за счет существующих на предприятии энергоисточников, либо благодаря высокой склонности потребителей к экономии, т. е. способности их к генерации дополнительной (альтернативной) энергии собственными силами.

Самым маловероятным вариантом является превышение регулируемой цены над свободной. Это служит объективным свидетельством динамичности и достигнутого высокого технологического уровня энергетической системы.

Единый механизм энергосбережения и повышения энергоэффективности для промышленных предприятий можно представить в следующем виде:

* каждое крупное предприятие (либо группа мелких предприятий одного типа) определяет возможные объемы потребления (энергосбережения) на ближайшие 3–5 лет;
* при рассмотрении сводных топливно-энергетических балансов (ТЭБ) государства и регионов проводятся расчеты общих объемов ежегодного уменьшения потребления энергии на 3–5 лет (с учетом допустимых отклонений);
* планирование ежегодных объемов энергосбережения (кВт-ч) для всех крупных предприятий на ближайшие 3–5 лет, а для малых предприятий – на 1–2 года;
* в зависимости от полученных показателей для каждого предприятия устанавливается и ежегодно корректируется ограничение потребляемой энергии, обеспеченное генерирующими мощностями по стабильным (регулируемым) ценам;
* объем сэкономленной предприятием электроэнергии выводится на энергорынок, где продается по рыночной (равновесной) цене;
* предприятия, которые не уложились в квоту (превысили ограничение), покупают энергоресурсы по рыночной цене у энергосистемы либо у других предприятий по договорной цене.

Существование энергорынка дает возможность предложить на свободном рынке электроэнергию, полученную на собственных генерирующих мощностях предприятий, что подрывает монополию централизованной энергосистемы и электросетей. В таком случае создаются предпосылки для включения в оборот вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) и уменьшения на них цены [5].

Одним из самых важных направлений энергосбереженияи увеличения энергоэффективности является введение систем контроля и учета потребления энергетических ресурсов на предприятии для решения следующих задач:

* автоматизированное получение информации о параметрах потребления энергии;
* проверка достоверности полученной информации;
* создание условий для обеспечения эффективного контроля и анализа фактических объемов потребления энергии;
* создание базы данных о потреблении энергии на предприятии;
* составление отчетных документов о потреблении энергии и мощностях предприятия;
* автоматическая передача оперативной информации о параметрах потребления энергии в управляющий центр.

Значительную роль в экономии энергетических ресурсов на предприятиях играет также усовершенствование технологических линий, модернизация устаревшего энергоемкого оборудования, либо замещение его на более современное. Усовершенствование парка оборудования и оптимизация энергоемкого производства нужны для снижения удельного расхода энергии и, как следствие, уменьшения себестоимости продукции [6–8].

Рассмотрим систему управления программой энергосбережения на уровне предприятия.

Осуществлением планирования и координации, контроля достижения целевых показателей, и, кроме того, ходом выполнения мероприятий занимаются органы системы управления программой энергосбережения. Осуществление перечисленных видов деятельности предполагает создание системы мониторинга.

В управлении предприятиями, задействованными совместными покупками (СП), важную роль играют энергоменеджеры, наделенные достаточными полномочиями и заинтересованные в успешной реализации согласованных стратегий. Они занимаются ориентацией соисполнителей на общий для партнеров целевой результат, а также координацией работы отделов:

* управления выполнением проектов энергосбережения;
* контроля и учета энергосбережения;
* обеспечения информацией, характеризующей уровень энергосбережения;
* повышения квалификации, компетенции и стимулирования исполнителей программ энергосбережения;
* маркетинга энергосбережения и повышения энергоэффективности [9].

В ходе выполнения программы система мониторинга выполняет следующие функции:

* *в области достижения целевых показателей*:фиксирует и утверждает целевые показатели; фиксирует и актуализирует планируемые показатели; фиксирует объемы потребления энергетических ресурсов; осуществляет периодический контроль степени достижения целевых показателей;
* *в области результативности мероприятий*: фиксирует, актуализирует и использует планируемые показатели результативности мероприятий в сфере энергосбережения; рассчитывает и фиксирует значения реальной результативности мероприятий в сфере энергосбережения в натуральном выражении; рассчитывает и фиксирует значения реальной результативности мероприятий в сфере энергосбережения в денежном выражении; контролирует достижение результативности мероприятий в сфере энергосбережения с заданной периодичностью;
* *в области выполнения мероприятий программы*: фиксирует и актуализирует планы реализации мероприятий; сопоставляет достигнутые и целевые показатели с заданной периодичностью; контролирует соответствие финансовых расходов, заданных в программе.

В результате выполнения энергосберегающих проектов и реализации мероприятий программы создаются два отчета:

* о реализации энергосберегающих проектов, внесенных в реестр утвержденных проектов;
* о достижении ключевых результатов программы.

В отчетах содержатся абсолютные показатели результатов деятельности, направленной на энергосбережение, а также достигнутые показатели энергоэффективности.

Отчеты отправляются руководителю департамента топливно-энергетического хозяйства города. Исполнители программы энергосбережения, которые включены в реестр, обладают доступом ко всем разделам географической информационной системы, что дает им возможность заниматься бенчмаркингом – сопоставлением уровней энергоэффективности различных регионов и организаций при макрооценке своего вклада в выполнение крупной народнохозяйственной программы [10, 11].

Народнохозяйственный подход к скоординированной деятельности работников федеральной программы по повышению энергоэффективности обеспечивается выше приведенными механизмами. Однако при унификации требований и синхронизации усилий исполнителей применение универсальных приемов управления снижает адаптационные возможности подсистем, а также они лишаются возможности использовать локальные резервы повышения энергоэффективности, где основными являются перераспределение ресурсов и целевых результатов в энергетической цепочке. Тенденция централизованного руководства подталкивать предприятия к одинаковым темпам энергосбережения (но разной ценой), обезличивает исполнителей – снижает ценность усилий одних и прикрывает неудачи других, что понижает общую эффективность [12].

Преимущество народнохозяйственного подхода к повышению энергоэффективности заключается в поиске и использовании резервов группового взаимодействия исполнителей в составе взаимосвязанных предприятий, восстановлении стремления к совместной деятельности и получении возможности реализовать синергетический эффект от такой деятельности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Мишин Ю. М.* Организационно-экономический механизм повышения энергоэффективности предприятия в условиях реформирования рынка электроэнергии РФ : на примере ОАО «Лесопромышленная холдинговая компания "Братский лесопромышленный комплекс"» : дис. … канд. эконом. наук. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. 149 с.
2. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года : гос. программа Российской Федерации. URL : http://www.infobio.ru/ sites/default/files/2446.pdf (дата обращения : 11.04.18).
3. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : закон Российской Федерации от 23.11.2009. URL : http://www.consultant.ru/document/cons\_ doc\_LAW\_93978/ (дата обращения : 12.04.18). URL : https://rg.ru/2009/11/27/energo-dok.html (дата обращения : 12.04.18).
4. *Шаховой В. А*., *Шапиро С. А.* Мотивация трудовой деятельности. М. : Изд-во «Вершина», 2003. 224 с.
5. *Порохова Н. В.* Цена на электроэнергию в России – это много или мало? // ЭнергоРынок. 2012, № 1(96). URL : http://www.e-m.ru/er/2012-01/30456/ (дата обращения : 11.04.18).
6. *Атоян В. Р*., *Жиц Г. И.*, *Плотников* *А. Н.* Логистическая поддержка инновационной деятельности. Саратов : Изд-во Сарат. гос. техн. ун-т, 2005. 102 с.
7. *Акчурин А. И.*, *Плотников А. Н.*, *Плотников Д. А.*, *Шамьенова Г. Р.* Механизм интегральной оценки системы управления инновационно-инвестиционными проектами. Саратов : ООО «Издательство "КУБиК"». 2015. 178 с.
8. *Плотников Д. А*., *Плотников А. Н.* Инвестирование инновационной деятельности наукоемких высокотехнологичных предприятий. М. : ИНФРА-М, 2017. 289 с.
9. *Заикин А. Г.* Формирование инновационной стратегии повышения энергоэффективности предприятия (учреждения) : автореф. дис. … канд. эконом. наук. Саратов, 2013. 25 с. URL : http://docplayer.ru/61713899-Zaikin-andrey-georgievich-formirovanie-innovacionnoi-strategii-povysheniya-energoeffektivnosti-predpriyatiya-uchrezhdeniya.html (дата обращения : 21.03.18).
10. *Плотников А. Н.*, *Иванилов Э. Б.* Процессный подход к управлению предприятием и его инвестиционно-инновационной деятельности // Вестн. Сарат. гос. техн. ун-та. 2011. Т. 4, № 1(59). С. 298–300.
11. *Плотников А. Н.*, *Симаков А. К.* Параметры системы инвестирования инноваций // Вестн. Сарат. гос. техн. ун-та. 2009. Т. 3, № 1(40). С. 201–210.
12. *Плотников А. Н.*, *Плотников Д. А*., *Вьюнова В. Р.* Оценочные показатели инновационного потенциала предприятия. Результаты научных исследований и разработок : сб. ст. междунар. науч.-практ. конф. Стерлитамак, 14 марта 2015 г. Стерлитамак : РИЦ АМИ, 2015. C. 120–123.

**ПРИЛОЖЕНИЕ**

УДК 001.8

**ОРГАНИЗАТОР ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**В** **САРАТОВСКООМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**ВЛАДИМИР ДМИТРИЕВИЧ ЗЁРНОВ**

**(к 140-летию со дня рождения)**

**В. М. Аникин, А. А. Игнатьев**

Саратовский национальный исследовательский

государственный университет им. Н. Г. Чернышевского

Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83

E-mail: AnikinVM@info.sgu.ru

Представлены страницы биографии доктора физико-математических наук, профессора Владимира Дмитриевича Зёрнова, раскрывающие его деятельность на постах заведующего кафедрой физики и Физического института (1909–1921 гг.), декана физико-математического факультета (1917–1918 гг.) и ректора (1918–1921 гг.) Саратовского университета. Отмечена роль великого российского физика Петра Николаевича Лебедева в формировании В. Д. Зёрнова как ученого-физика и в становлении высшего физико-математического образования в Саратовском университете.

*Ключевые слова*: Саратовский университет, физический факультет, Петр Николаевич Лебедев, Владимир Дмитриевич Зёрнов.

**Organizer of Physics and Mathematics Education at Saratov University**

**Vladimir Dmitrievich Zernov**

**(to the 140th anniversary of birth)**

**V. M. Anikin**, **A. A. Ignatiev**

Some pages of the biography of the doctor of physical and mathematical sciences, professor Vladimir D. Zernov, characterized his work as head of the Department of Physics and the Physical Institute (1909–1921), dean of the Faculty of Physics and Mathematics (1917-1918) and rector (1918–1921) of the Saratov University are presented. The article emphasizes the role of greatest Russian physicist Peter N. Lebedev in the formation of V. D. Zernov as a physicist and in the development of higher physical education at the Saratov University.

*Key words*: Saratov University, Faculty of Physics, Peter N. Lebedev, Vladimir D. Zernov.

***Петр Николаевич Лебедев является***

***одной из наиболее крупных фигур***,

***давших направление всей моей жизни и деятельности*.**

В. Д. Зёрнов

Первый заведующий кафедрой физики и первый декан физико-математического факультета Саратовского университета Владимир Дмитриевич Зёрнов (1878–1946) был учеником «первой волны» великого отечественного физика Петра Николаевича Лебедева, член-корреспондента Петербургской АН, профессора и заведующего кафедрой физики Московского университета. В. Д. Зёрнов – первый его ученик, который и защитил магистерскую диссертацию, и сделал почетную административную карьеру как один из профессоров-основателей, а затем и как декан физико-математического факультета и ректор Саратовского университета, открытого в 1909 г.



П. Н. Лебедев

Студентом физико-математического факультета Московского университета Владимир Зёрнов стал осенью 1897 г. Во времена ректорства в Московском университете его отца, профессора анатомии Дмитрия Николаевича Зёрнова, он прервал учебу из-за студенческих волнений, но поскольку к тому времени он уже познакомился к Петром Николаевичем Лебедевым в физической студенческой лаборатории, то решил там заниматься по предложенной Лебедевым экспериментальной работе «Определение декремента затухания акустических резонаторов». Это были первые шаги В. Д. Зёрнова как экспериментатора, а предметом его гордости стало совершенное владение прибором Ф. Кольрауша [1, с. 73]. Новая тема исследования, сформулированная Лебедевым для В. Д. Зёрнова, была связана с акустикой и называлась «Сравнение методов измерения силы звука в абсолютной мере». Эту тему нужно рассматривать в контексте развивавшегося П. Н. Лебедевым научного направления по исследованию давления волн различной природы. Для В. Д. Зёрнова же проблемы акустики стали центральными в дальнейших его научных занятиях.

В 1900 г. В. Д. Зёрнов присутствовал на Всемирном физическом конгрессе, который проводился в рамках Всемирной выставки в Париже, и слушал выступление своего учителя. Всего на конгресс было заявлено около 80 докладов [2], которые к конгрессу были изданы в виде отдельных оттисков, что оказалось весьма полезным для участников. Многие знаменитости физического мира съехались тогда в Париж[[1]](#footnote-1). Почетным председателем был лорд Кельвин. В русской делегации было «много молодежи» [2]. В. Д. Зёрнов ехал с группой физиков Московского университета [1, с. 76], куда входил и талантливый изобретатель И. Ф. Усагин (ассистент кафедры физики). Знакомство с физиками Европы у В. Д. Зёрнова не ограничилось мероприятиями конгресса. По пути на съезд он и его товарищи в Берлине побывали в физико-техническом институте (Physikalisch-Technische Reichsanstalt) у профессора Ф. Кольрауша, а также осмотрели электромеханический завод. В [1] приведено немало колоритных воспоминаний об этой поездке.



В. Д. Зёрнов

В 1900/1901 учебном году В. Д. Зёрнов занимался главным образом в физической лаборатории и слушал специальные лекции по физике. В помещении старой лаборатории было тесно, и свою установку он сооружал в преподавательской комнате, проходной и холодной. Потом П. Н. Лебедев «отвоевал» для В. Д. Зёрнова и его однокурсника В. И. Романова дополнительную комнату. Сохранилась лебедевская «Инструкция студенту Зёрнову» по проведению экспериментальных исследований, удивляющая своей доскональностью, предусмотрительностью и знанием студенческой психологии [3, письма 206, 212, 222].

Весной 1902 г. В. Д. Зёрнову предстояло сдать государственные экзамены за университетские курсы математики (письменный и устный экзамены), механики (два экзамена), физики (два экзамена), астрономии и метеорологии. Кроме того, выпускники представляли два конспекта по избранной специальности. Тему одного из них («Тепловая диссоциация») В. Д. Зёрнову дал профессор Алексей Петрович Соколов, ученик А. Г. Столетова, Г. Гельмгольца и Г. Кирхгофа. Вторая экспериментальная тема, упомянутая выше, выполнялась под руководством П. Н. Лебедева. В. Д. Зёрнов писал в своих воспоминаниях:

«*В отличие от Лебедева Соколов абсолютно не интересовался данной мне работой*, *и для меня совершенно было очевидно*, *что из довольно толстой тетради страниц в 150*, *которую я дал ему*, *он едва ли прочел больше первой страницы*. *На полях первой страницы стояла какая-то непонятная галка и затем ни одной пометки во всем тексте*. *Когда же Соколов собирался поставить мне за сочинение удовлетворительную отметку*, *я настоял*, *чтобы он написал на тетради*, *что работа выполнена под его руководством*, *чего*, *конечно*, *вовсе не было*. *Пётр Николаевич Лебедев*, *напротив*, *моей работой интересовался*» [1, с. 76].

П. Н. Лебедев предъявлял к работе В. Д. Зёрнова весьма жесткие требования, но когда тот после окончания физико-математического факультета с дипломом первой степени обратился к нему с просьбой разрешить работать в его лаборатории независимо от того, будет ли он оставлен в университете «для приготовления к профессорскому званию» или нет, П. Н. Лебедев свое согласие дал. Ситуация разрешилась для В. Д. Зёрнова своеобразно: он был оставлен при кафедре физики, но без стипендии. Все же осенью 1902 г. В. Д. Зёрнов был избран лаборантом кафедры физики для руководства лабораторными работами студентов в практикуме А. П. Соколова, т. е. стал преподавателем Московского университета.

В 1904 г. В. Д. Зёрнов добился первого крупного научного успеха. Как он вспоминал:

«*Петру Николаевичу мои эксперименты*, *по-видимому*, *нравились. Он велел мне описать их и очень жестко критиковал описания*, *так что приходилось переделывать тексты несколько раз. По этому поводу я бывал у Петра Николаевича на квартире*, *когда он жил еще в своем доме на Маросейке*» [1, с. 110].

В 1904 г. П. Н. Лебедев представил работу В. Д. Зёрнова «Сравнение методов измерения звуковых колебаний в резонаторе» в Общество любителей естествознания, антропологии и этнографии при Московском университете на учрежденную в 1887 г. премию имени В. П. Мошнина. Эта премия после выступления Зёрнова на представительном заседании Общества в Политехническом музее была ему присуждена [4][[2]](#footnote-2). Как говорилось в положении о премии, она назначалась «за самостоятельные научные исследования в области физики и химии, а также за выдающиеся изобретения и усовершенствования по практическому приложению этих наук» [5].

Работу над магистерской диссертаций В. Д. Зёрнов продолжил в 1906–1908 гг. События лета 1906 г. В. Д. Зёрнов так описал в своих воспоминаниях:

«*Результатами моей первой работы П. Н. был доволен*, *я уже докладывал о ней на коллоквиумах*, *и П. Н*., *уезжая на лето за границу*, *взял русский текст с собой*, *чтобы перевести работу на немецкий язык и послать для печатания в* “*Annalen der Physik*” *– журнале*, *который задавал тогда тон всей физической литературе. Расстались мы друзьями. И вдруг в начале лета я получаю из-за границы исключительно резкое письмо от П. Н. с рядом эпитетов по отношению ко мне и к моей работе*, *едва ли не более красочных*, *чем слышал я от него при первом знакомстве*[[3]](#footnote-3): *я не привел какой-то формулы Вина*, *я небрежно составил таблицы*, *я еще что-то не так сделал*… *Тут я уж дал себе выкипеть и написал П*. *Н*. *письмо*, *которое начал несколько официально*:“*Глубокоуважаемый Пётр Николаевич*! *Любезное письмо Ваше от* (*такого-то числа*) *я получил и отвечаю Вам подробно по пунктам*...”*. В ближайшее время ответа я не получил*, *а к концу лета получил длинное ласковое письмо и заказной бандеролью корректурный оттиск работы*, *принятой для напечатания в* “*Annalen der Physik*”[[4]](#footnote-4), *с собственноручной надписью Петра Николаевич*а: “*Поздравляю Вас с первым*, *самым важным шагом начинающего ученого. До сих пор Вы только брали* – *теперь сами даете. Помните добрый совет*: *работайте много*, *сколько можете*, *но печатайте только тогда*, *когда вполне разобрались в вопросе*, *и излагайте только то*, *что важно узнать читателю-специалисту по данному вопросу. Чем короче и сжатее статья – тем больше читателей*, *тем больше проку. П. Л.*”

*Эта надпись интересна еще и тем*, *что дает понятие об отношении П. Н. к работе и к способам ее изложения.*

*Когда осенью мы встретились с П. Н. в Москве*, *он расцеловался со мной*, *еще раз поздравил с первым научным успехом и о* “*любезной*” *переписке не поминал* …» [6].

В конце 1907 г. В. Д. Зёрнов закончил вторую работу по исследованию диска Рэлея как прибора для измерения силы звука в абсолютной мере. Окончательной отделкой статьи, как признает Зёрнов, занялся П. Н. Лебедев [6]:

«*Работа была закончена и дала хорошие результаты*; *текст в уже усвоенном стиле был написан*, *чертежи сделаны*, *и П. Н. опять взял весь материал*, *чтобы перевести работу на немецкий язык для отсылки в редакцию* “*Annalen der Physik*”*. Когда перевод был закончен*, *П. Н. поручил мне проверить русский текст по немецкому*, *так как им в немецком тексте были сделаны некоторые поправки. Я взял оба текста и все чертежи домой и сверил русский текст с немецким. Теперь все в порядке*, *надо отнести рукописи П. Н*., *и он со своим отзывом пошлет русский текст в журнал* “*Русского физико-химического общества*”, *а немецкий – в редакцию* “*Annalen der Physik*”»[[5]](#footnote-5).

Около года у В. Д. Зёрнова заняла подготовка к сдаче магистерских экзаменов. П. Н. Лебедев относился к подобным экзаменам скептически, считая, что главное для молодых – сделать самостоятельную научную работу. В число магистерских экзаменов входили математика, механика, включая гидродинамику, метеорология, экспериментальная физика, теоретическая физика. О том, как были организованы и проходили магистерские экзамены, Зёрнов описал так:

«*Магистерский экзамен всегда проходил в заседании факультета. Во время заседания из числа членов факультета выделялись экзаменатор и ассистент.* <…> *По теоретической физике Соколов дал мне два отдела – теорию тепла и теоретическую оптику по Друде. Спрашивал меня Соколов*, *а Лебедев демонстративно*, *не слушая моего ответа*, *расхаживал по комнате и не то что-то мурлыкал про себя*, *не то насвистывал. <…> Математику принимали профессор Лахтин и Егоров*, *оба были преподавателями еще в гимназии. Механику я отвечал Н. Е. Жуковскому и С. А. Чаплыгину. Метеорологию сдавал Э. Е. Лейсту*, *секретарю факультета*» [1, с. 123, 133].

Получив разрешение физико-математического факультета, В. Д. Зёрнов отпечатал диссертацию отдельной брошюрой (таковы были требования того времени, оттиски выставлялись даже в витринах книжных магазинов) в московской типографии Г. Лисснера и Д. Собко – традиционном месте издания трудов семейства Зёрновых. Защита магистерской диссертации В. Д. Зёрновым состоялась 12 марта 1909 г. Он так вспоминал об этом важном событии в своей жизни [1, с. 135, 136]:

«*Я облёкся в новый фрак и заблаговременно отправился в Физический институт.*

<…> *Когда я вышел в большую физическую аудиторию*, *все члены факультета сидели в ряд на стульях*, *поставленных перед рядами скамей аудитории. В те времена профессора на лекциях и на заседаниях были одеты в форменные фраки (вицмундиры). Аудитория была полна народа. Пришло много студентов*, *ученики Лебедева*, *увидал я и моих домашних.*

*Я уже много раз докладывал свои работы*, *вошедшие в диссертацию*, *и говорить мне было легко. Речь свою я произносил без записки. Начались выступления официальных оппонентов. Н. А. Умов говорил довольно расплывчато*, *но работу похвалил*, *и мне нечего было ему отвечать. Очень придирчиво говорил А. П. Соколов*, *но его главное возражение было отведено моим предшествующим выступлением и замечанием Петра Николаевича*, *которое он сделал после выступления Соколова. Из возражений Соколова одно было правильное*, *но незначительное. С ним я*, *конечно*, *согласился и признал*, *что здесь имеет место недосмотр. Во всяком случае*, *три профессора*: *Умов*, *Соколов и Лебедев – признавали меня* “*достойным искомой степени*”.

*Декан предложил и другим высказаться или сделать замечания. Из членов факультета никто слова не взял. Только работавший в лаборатории Лебедева Е. А. Гопиус сделал уточняющее замечание*, *на которое я дал возражение. Этим защита была закончена. После описанных разговоров декан факультета обошёл всех членов факультета*, *и каждый должен был открыто сказать*, *считает ли он диссертанта достойным искомой степени или нет. Все ответили положительно.*

*Аудитория долго аплодировала*, *а я стоял у двери*, *через которую выходили члены факультета*, *и каждый поздравлял меня и целовался со мной* – *таков был старинный обычай*: *члены факультета*, *доктора как бы принимали в свою среду нового члена*, *молодого учёного*».

П. Н. Лебедев был искренне рад, когда его второй учитель в Германии Ф. Кольрауш (первым был Август Кундт в Страсбургском университете) в 1910 г. отметил работы В. Я. Альтберга и В. Д. Зёрнова в 11-м издании своего учебника «Lehrbuch der praktischen Physik» [3, письмо 379].

Уже спустя месяц после защиты магистерской диссертации, 11 апреля 1909 г., В. Д. Зёрнов вместе с семьей выехал в зарубежную поездку. П. Н. Лебедев дал ему рекомендательные письма, указал, «*какие институты полезно посетить*, *лекции каких профессоров послушать, и непременно рекомендовал побывать в Англии – в Лондоне*, *Кембридже и Манчестере*» [6]. В. Д. Зёрнов воочию мог убедиться, каким уважением пользовался Лебедев: «*имя П. Н*., *его записка открывали передо мною любые лаборатории. Стоило сказать*, *что я ученик Лебедева*, *и передать работу*, *сделанную под его руководством*, *и я был желанным гостем*» [6]. Своеобразным «промежуточным» отчетом В. Д. Зёрнова о заграничной поездке является его письмо П. Н.Лебедеву от 23 июня 1909 г. [3, письмо 374]:

«*Многоуважаемый Пётр Николаевич*! *Сегодня первый день провел в Англии и ездил в Кембридж. Был у Томсона*, *говорил с ним*, *и его ассистент показывал мне институт.* <…> *В Германии все*, *кому Вы позволили передать свой поклон*, *очень внимательны и*, *в свою очередь*, *просили Вам кланяться. До сих пор я был у Ленарда*, *Брауна*, *Рентгена*, *Вина*, *Фогта и Симона*, *да еще у Ваксмута во Франкфурте*. <…> *Симон с особенным вкусом показывает свой институт и*, *видимо*, *гордится своим произведением. Он просит дать в Zeitschrift коротенькое описание фонометра.* <…> *Завтра попытаюсь проникнуть в Лондонский университет*, *потом поеду в Манчестер и на обратном пути побываю в Davy–Faraday lab*[*oratory*]*.* <…> *Искренне уважающий Вас Вл. Зёрнов*».

Здесь не случайно подробно описывается заграничный маршрут В. Д. Зёрнова по университетским местам Европы. Дело в том, что еще до защиты диссертации, не без активного участия Петра Николаевича Лебедева, В. Д. Зёрнов был вовлечен в эпопею по созданию нового в России университета – Саратовского. Вот как это начиналось [6]:

«*Осенью 1908 г*., *в день возвращения моего из деревни в Москву*, *П. Н. позвонил мне вечером по телефону и без всякого вступления говорит*: “*Владимир Дмитриевич*, *хотите быть профессором*?” *Я чуть не сел на пол. “Пётр Николаевич*, *вы знаете*, *что это то*, *к чему я стремлюсь*, *к чему направлены все мои усилия*”. –“*Ну*, *так отлично. Я рекомендовал вас на кафедру в Варшавский университет*[[6]](#footnote-6)*. Спишитесь с деканом*, *но требуйте себе лабораторию и достаточные средства*, *чтобы с самого начала поставить там научную работу*”.

*Я благодарил П. Н. за доверие ко мне и за хорошее обо мне мнение и начал переписку с деканом физико-математического факультета Варшавского университета. Но так как факультет затягивал переговоры*, *предполагая поставить меня до известной степени в зависимость от более старого профессора*, *а П. Н. не рекомендовал уступать*, *то после защиты диссертации я предпочел кафедру физики во вновь организуемом Саратовском университете*».

Узнав об открытии Саратовского университета, В. Д. Зёрнов отказался от идеи стать профессором в Варшаве. Он сразу же после защиты магистерской диссертации поехал в Петербург и обратился непосредственно к министру народного просвещения Александру Николаевичу Шварцу, у которого учился в гимназии. Шварц принял у него докладную записку и обещал свою поддержку [1, с. 137–139]. В свою очередь в мае 1909 г. П. Н. Лебедев направил письмо Николаю Николаевичу Шиллеру, уважаемому российскому физику, занимавшему пост в совете министра народного просвещения. Письмо интересно характеристикой, которую он давал В. Д. Зёрнову, и кратким рассказом о своей работе [3, с. 369]:

«…*Мой ученик магистр физики Владимир Дмитриевич Зёрнов подал в Министерство прошение о зачислении его кандидатом по физике вновь учреждаемого Саратовского Университета. Так как его прошение поступит*, *вероятно*, *на Ваше рассмотрение*, *то я позволил бы себе сказать несколько слов о Зёрнове как о физике*: *у меня он работал около пяти лет* [*неразб.*] *над своей задачей – всегда добросовестно и внимательно*, *а в случае возникающих сомнений как настоящий физик и притом физик ловкий*, *умеющий критически относиться к своей работе*, *не жалел рабочего времени*; *хотя работа и сделана в моей лаборатории*, *я все-таки могу сказать*, *что сделана она хорошо. Зёрнов принимал деятельное участие в наших коллоквиях – лектор он хороший*: *говорит ясно*, *толково*, *спокойно*, *и всегда только о том*, *что ему самому совершенно ясно. Добавлю еще*, *что он лет пять был ассистентом у Соколова и имеет достаточный опыт в обхождении со студентами на практических работах. Со своей стороны я бы мог рекомендовать его со спокойной совестью*, *вполне уверенный*, *что он любит самоё дело*, *сможет толково его организовать и быть хорошим руководителем.*

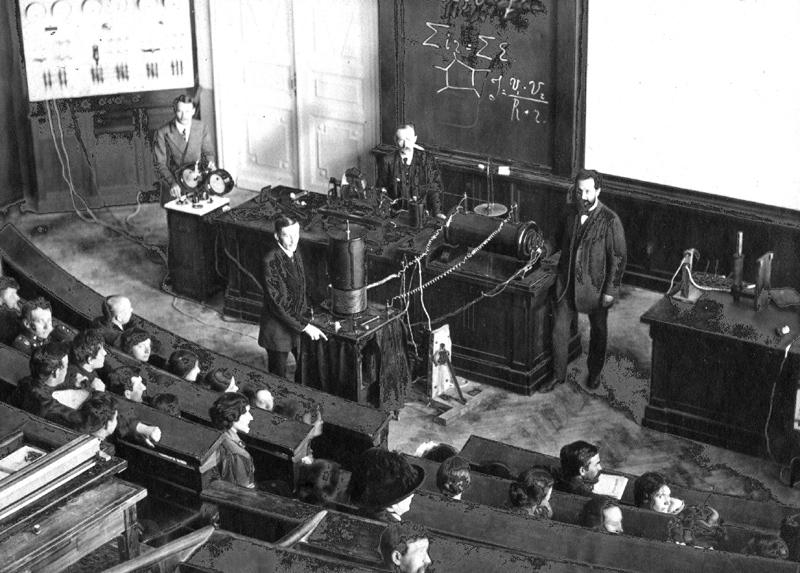
*За последние пять лет я наладил тут фабрику молодых физиков и был бы очень рад*, *если бы Вы весной*, *при проезде на юг*, *заехали бы к нам посмотреть*, *как тут это дело поставлено*: *у меня сейчас работают 18 человек на разные темы по разным волнам*, *по теплопроводности паров*».

«Фабрика молодых физиков» П. Н. Лебедева составила первую серьезную научную школу по физике, созданную в России [7, 8].

10 (23) июня 1909 г. Николай II подписал закон об учреждении Саратовского университета, при этом В. Д. Зёрнов в числе первых 7 профессоров был назначен с 1 июля 2009 г. исправляющим обязанности экстраординарного профессора Саратовского университета. Естественно, особая заслуга в продвижении Саратовского университета в начальный период его существования принадлежит его первому ректору – Василию Ивановичу Разумовскому. Но что касается физического направления, то В. Д. Зёрнов очень грамотно определил все приоритеты и успешно разрешил взаимосвязанные задачи по утверждению проекта и строительству Физического института Саратовского университета (по проекту К. Л. Мюфке и Л. П. Шишко), оснащению его лабораторным оборудованием (приобретенные при Зёрнове приборы хранятся сегодня в музее физических приборов физического факультета Саратовского государственного университета (СГУ)), обеспечению учебной литературой (Зёрнов ездил в Петербург за библиотекой видного физика и методиста, члена-корреспондента Петербургской АН Ореста Даниловича Хвольсона), привлечению для работы московских физиков, созданию механических мастерских.

Из непосредственного окружения Петра Николаевича Лебедева и его ближайшего ученика Петра Петровича Лазарева в Саратовском университете стали работать Константин Александрович Леонтьев, Николай Павлович Неклепаев и Владимир Ефимович Сребницкий. Н. П. Неклепаев и В. Е. Сребницкий под руководством П. Н. Лебедева выполняли научные исследования по акустике. Как уже отмечалось, В. Д. Зёрнов и В. Е. Сребницкий были отмечены престижной для начала прошлого века научной премией имени В. П. Мошнина в области физики и химии, распорядителем которой являлось Общество любителей естествознания, антропологии и этнографии при Московском университете.

Постановка первых работ в физическом практикуме Саратовского университета и экспериментальные демонстрации на лекциях – заслуга еще одного бывшего сотрудника физического факультета Московского университета Ивана Максимовича Серебрякова, механика в практикуме профессора Алексея Петровича Соколова. Примечательно, что самой первой лекцией, прозвучавшей в стенах Саратовского университета, была именно лекция по физике, которую 23 сентября 1909 г. прочитал В. Д. Зёрнов.



Лекция в Большой физической аудитории (1914 г.): крайний справа – исполняющий должность экстраординарного профессора В. Д. Зёрнов, на переднем плане (рядом с трансформатором Н. Теслы) – ассистент Н. П. Неклепаев, у доски – лаборант В. Е. Сребницкий, крайний слева – лаборант И. М. Серебряков

Вот как вспоминал В. Д. Зёрнов о времени создания Физического института в Саратове и о том интересе, который проявлял к нему П. Н. Лебедев [6]:

«*Когда я начал свою работу в Саратове*, *П. Н. живо интересовался организацией нового Физического института*, *помогая мне при обсуждении проекта здания и его оборудования. При частых посещениях Москвы мой первый визит был всегда к П. Н.*, *и мы обсуждали*, *как и что приобретать и устраивать. У меня хранится переплетенная тетрадь*, *подаренная мне П. Н. во время одной из первых бесед об оборудовании нового института. Тетрадь назначалась для записи в ней всех заказов*, *сделанных для физической лаборатории Саратовского университета.*

*На первом листе П. Н. сделал надпись*:“*Профессору В. Д. Зёрнову для умеренности и аккуратности от друга – П. Лебедева. Москва. 19.VIII.09*”. *На следующей странице П. Н. написал форму обращения к заграничной фирме*; *первые страницы*, *где записан заказ Лорху и Шмидту на станки и оборудование мастерской*, *сделаны под диктовку П. Н*., *отчасти и прямо его рукой.*

*Очень характерно*, *что П. Н. именно с этого заказа рекомендовал начать оборудование физической лаборатории*, – *он не допускал возможности нормальной работы физической лаборатории без хорошо оборудованной мастерской. Сколько раз впоследствии мне приходилось при организации новых лабораторий доказывать администрации эту элементарную истину – и иногда безуспешно*!

*В день официального открытия Саратовского университета 6 декабря 1909 г. я получил от П. Н. телеграмму с горячими пожеланиями успеха*: «*Приветствую нарождающийся Физический институт. Желаю ему расти большим*, *иметь силы*, *много успешно работать*».

Эпопею строительства и оборудования Физического института В. Д. Зёрнов подробно описал в статье, помещенной в 1916 г. в журнале «Физическое обозрение» П. А. Зилова. Ее текст воспроизведен в юбилейном (посвященном 100-летию физического корпуса СГУ) выпуске журнала «Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Физика» за 2014 г. [9]. В этом же выпуске журнала опубликованы другие исторические материалы, посвященные юбилейной дате [10, 11].

В университете В. Д. Зёрнов пользовался исключительным уважением коллег, активно поддерживал ходатайство об открытии в университете физико-математического факультета. В частности, в выступлении на Совете университета в феврале 1916 г. он выдвинул свои обоснования в пользу открытия факультета:

«…*Когда идет реорганизация преподавания в средних учебных заведениях и потребуется значительно большее число преподавателей*, *которых не хватает и сейчас*, *необходимость расширения Императорского Николаевского университета чувствуется еще острее*… *Мы располагаем новыми зданиями Университета*, *в части которых разместились три факультета Университета Св. Владимира. После возвращения Университета Св. Владимира в Киев в той же части помещений временно могут разместиться учебно-вспомогательные учреждения физико-математического факультета. Таким образом*, *возражение Министерства*, *касающееся помещений*, *отпадает*» [12, с. 21–22]*.*

Кроме того, В. Д. Зёрнов обратил внимание на необходимость перемещения из Физического института находившейся там университетской библиотеки в специальное здание (решение этого вопроса было передано на обсуждении библиотечной комиссии Совета).

После учреждения физико-математического факультета, хорошо зная московскую научную среду, он развил активную деятельность по подбору преподавателей, и в качестве профессоров нового факультета были приглашены люди, отметившиеся яркими достижениями в науке.

Вот как вспоминал о времени зарождения физико-математического факультета непосредственный участник этих событий В. Д. Зёрнов [1, с. 215, 216]:

«… *С осени 1917 года новые факультеты были открыты. Так как кафедры физико-математического факультета уже отчасти были налицо*, *нам было разрешено выбрать декана и секретаря факультета из своей среды.*

*В то время имелись следующие кафедры*: *физики* (*ею заведовал я*), *химии* (*Р. Ф. Холлман*), *зоологии* (*Б. И. Бируков*), *ботаники* (*Д. Э. Янишевский*).

<…> *Деканом был выбран я*, *секретарем факультета – Р. Ф. Холлман. Не хватало пока что профессоров математики*, *механики*, *второго физика* (*на кафедру теоретической физики*), *метеорологии*; *имелся только один профессор химии*, *а надо было ещё и органика. Я начал переписку по поводу приглашения математиков с моим бывшим учителем профессором Московского университета Д. Ф. Егоровым*, *который в то время являлся самым крупным математиком в Москве. Он порекомендовал нам прекрасных математиков – В. В. Голубева и И. И. Привалова. Они приехали в Саратов к началу второго семестра. Когда новые профессора начали читать*, *все сразу же по заслугам оценили прекрасных учёных и лекторов. После они сами привлекли на факультет Г. Н. Свешникова*, *тоже очень талантливого математика*»*.*

Спустя год Владимир Дмитриевич был избран ректором Саратовского университета. Факт этот удивительный, подавляющее число профессоров университета было медиками. На его долю выпал тяжелейший период в истории университета [13]. Первый выпуск студентов физико-математического факультета состоялся весной 1921 г. В. Д. Зёрнов по этому поводу писал [1, с. 216]:

«*Желающих поступить на физико-математический факультет оказалось гораздо больше*, *чем мы с нашими весьма скромными средствами могли принять*, *и мне пришлось провести среди претендентов конкурс аттестатов*, *в результате чего на первом курсе подобрался отличный состав студентов*[[7]](#footnote-7)*. Когда они заканчивали своё обучение в университете*, *меня в Саратове уже не было*, *но желая*, *чтобы я всё-таки присутствовал на коллективном снимке выпускной группы*, *студенты схитрили и сзади на стену повесили над группой мой большой портрет*».



Преподаватели и выпускники физико-математического факультета Саратовского университета (1921). В первом ряду: крайний справа Г. П. Боев; во втором ряду, слева направо: ?, ?, С. А. Богуславский, К. И. Котелов, ?, В. В. Голубев, И. И. Привалов, Г. Н. Свешников, ?; в третьем ряду: 4-й слева Б. И. Котов, 6-й – Н. П. Неклепаев, 8-й – К. А. Леонтьев; крайний справа в последнем ряду – Е. А. Гюнсбург. Вверху – портрет В. Д. Зёрнова (фото из архива К. Е. Гюнсбург)

В 1921 г. В. Д. Зёрнов покинул Саратов [1]. Оставил он о себе исключительно хорошую память, свидетельством чего может служить письмо за 58 подписями, полученное им в декабре 1921 г. из Саратовского университета [1, с. 257]:

«*Многоуважаемый и дорогой Владимир Дмитриевич.*

*Профессора*, *преподаватели и их семьи*, *собравшиеся в день празднования открытия Университета в Вашем бывшем Институте*, *шлют горячий сердечный товарищеский привет Вам*, *нашему дорогому товарищу*, *нашему любимому Ректору*.

*Здесь*, *в Саратове*, *мы помним всё то*, *что Вы сделали для Университета*, *и гордимся*, *что в нашей среде был такой энергичный*, *стойкий и преданный Университету деятель*, *как Вы. В Вашей новой деятельности от души желаем Вам успеха*, *полного удовлетворения в работе и такую же дружную и любящую Вас семью Ваших товарищей по работе*».

Это письмо подписали, в частности (не все подписи разборчивы), профессора[[8]](#footnote-8): медики В. И. Разумовский, Н. Г. Стадницкий, П. П. Заболотнов, С. Р. Миротворцев, И. А. Чуевский, А. А. Богомолец, Н. М. Какушкин, В. И. Скворцов, физик К. А. Леонтьев, математик В. В. Голубев, астроном И. Ф. Полак, фольклорист и этнограф Б. М. Соколов, историк В. А. Бутенко; доцент-медик П. П. Подъяпольский, заведующий хозяйственно-техническим отделом университета, помощник В. Д. Зёрнова Е. А. Гюнсбург, бывший студент-медик Н. А. Беляев и др.

В последующую четверть века В. Д. Зёрнов проработал в московских вузах. Проявил себя и как творческий лектор, и как умелый администратор, за что в добавление к дореволюционным орденам Св. Станислава 3-й и 2-й степеней и Св. Анны 3-й степени был заслуженно награжден орденом Трудового Красного Знамени (1944 г.) и медалью «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг.».

За работы в области акустики в 1938 г. ему была присуждена ученая степень доктора физико-математических наук. В 1945 г. он удостоен ученого звания профессора. Оригиналы соответствующих документов хранятся в Музее физических приборов физического факультета Саратовского университета.

Скончался Владимир Дмитриевич Зёрнов 30 сентября 1946 г. во время лекции в Московском высшем техническом училище им. Н. Э. Баумана. Гражданская панихида состоялась 4 октября 1946 г. в Московском институте инженеров транспорта. Похоронен он на Введенском кладбище. В ноябре 1946 г. в Большой физической аудитории Московского университета состоялось расширенное заседание физического факультета, посвященное памяти В. Д. Зёрнова. А 20 апреля 1947 г. в Большом зале Дома ученых состоялся концерт, посвященный его памяти.

Ныне на здании III учебного корпуса Саратовского университета установлена памятная доска в честь В. Д. Зёрнова. Кафедра медицинской и биологической физики Саратовского государственного медицинского университета имени В. И. Разумовского носит имя Владимира Дмитриевича.

\*\*\*

В начале 1980-х гг. дочь В. Д. Зёрнова – Мария Владимировна Зёрнова (1911–1993 гг.) – прислала на кафедру общей физики Саратовского университета для музея, начало которому положила коллекция физических приборов, созданная ее отцом, ряд интересных материалов, отражающих его деятельность. Часть из них использована и в настоящей публикации. В письме заведующему кафедрой общей физики Всеволоду Семеновичу Стальмахову от 16 мая 1982 г., спустя полтора месяца после смерти мужа, М. В. Зёрнова писала:

«*Большое спасибо за приглашение приехать в Саратов и посетить Саратовский университет. Мы так и собирались с Георгием Тимофеевичем – приехать в конце мая на пароходе в Саратов и передать кафедре реликвии*, *касающиеся Саратовского университета.*

*Но судьба распорядилась иначе. 2-го апреля я потеряла лучшего моего друга и советчика. Георгий Тимофеевич внезапно скончался. Одна я*, *конечно*, *приехать сейчас не могу. Чувствую себя очень неважно и должна лечь в стационар.*

*Но мне очень хочется чем-то быть полезной кафедре и сообщить некоторые сведения из истории Саратовского университета и его физико-математического факультета.*

*Посылаю некоторые выдержки из папиных записок. Если это представит интерес*, *то я могу еще многое выписать из записок и прислать на кафедру. Папа ведь очень любил свое* «*детище*» – *Саратовский университет*, *и в его записках большое место занимают воспоминания*, *связанные с организацией Университета*, *физико-математического факультета и кафедры физики.*

<…> *Мне удалось найти Николая Николаевича Неклепаева. У него есть фотографии строящегося Университета и мастерской*, *где снят и Николай Павлович Неклепаев.*

*Я еще говорила по телефону с Владимиром Ксенофонтовичем Семенченко*,*но повидать его не удалось – сегодня*, *т.е. 16 мая*, *его похоронили. Владимир Ксенофонтович работал до 1921 г. на кафедре физики Саратовского университета*»[[9]](#footnote-9).

Мария Владимировна передала на кафедру общей физики уникальные исторические экспонаты – телеграмму П. Н. Лебедева В. Д. Зёрнову в день открытия Саратовского университета 6 (19) декабря 1909 г.; общую тетрадь В. Д. Зёрнова, подаренную ему П. Н. Лебедевым (с дарственной надписью); публикацию воспоминаний В. Д. Зёрнова «Учитель и друг» о Петре Николаевиче Лебедеве в «Трудах института истории естествознания и техники» (1959 г.); отдельные оттиски статей В. Д. Зёрнова в бытность профессором Саратовского университета в журнале «Известия Императорского Николаевского университета» («Ломоносов как физик [По поводу 200-летнего юбилея со дня рождения]», 1911 г.; «Строение материи», 1912 г.; «Радиоактивные свойства эльтонской лечебной грязи», 1914 г.; «Фонограммы гласных человеческой речи», 1916 г.; «М. Н. Галкин-Враской (1834–1916 гг.). Биографический очерк», 1917 г.); отдельный оттиск статьи «Физический Институт Императорского Николаевского университета в Саратове» из журнала «Физическое обозрение» (1916 г.); оттиск статьи «Излучение света» из журнала «Природа» (1917 г., № 2); фрагменты воспоминаний Владимира Дмитриевича («Киевские вузы в Саратове», «Университетские дела. Выборы ректора», «Дни февральской революции», «Мое ректорство»), воспоминания «Поездка на озеро Эльтон» (1913 г., с подлинными фотографиями); афиши, программы и аннотации публичных лекций, в которых принимал участие В. Д. Зёрнов («Невидимые лучи», 1912 г., Общество вспомоществования студентов; «Радий и его свойства», 1914 г., Саратовское санитарное общество; «Электронное строение вещества и радий», 1914 г., Саратовское коммерческое общество); программа и аннотация лекции на вечере памяти М. В. Ломоносова для учеников воскресных школ (1912 г., городская народная аудитория); программа лекций для учащихся воскресных школ (1913 г.).

|  |  |
| --- | --- |
| Брошюра_Ломоносов | Брошюра_Галкин-Враской |

Публикации В. Д. Зёрнова в журнале «Известия Саратовского университета»

Присланные М. В. Зёрновой записи В. Д. Зёрнова впоследствии вошли в книгу [1], которая содержит ценнейшие свидетельства исторических событий столетней давности.

Среди присланных М. В. Зёрновой материалов есть и выверенная самим Владимиром Дмитриевичем его биография (на оригинале стоит дата 1 мая 1944 г.). Приводим этот текст.

«Биография

доктора физико-математических наук, профессора

Владимира Дмитриевича Зёрнова

Владимир Дмитриевич Зёрнов – сын профессора анатомии Московского Университета Дмитрия Николаевича Зёрнова (умер в 1917 году) и внук профессора чистой математички того же Университета Николая Ефимовича Зёрнова (умер в 1863 году) – родился в Москве в 1878 году Среднее классическое образование получил в Московской Пятой гимназии. По окончании гимназии Владимир Дмитриевич поступил в 1897 году в число студентов физико-математического факультета Московского Университета.

Будучи студентом, стал специализироваться по физике под руководством профессора П. Н. Лебедева и в 1902 году представил в Государственную Испытательную комиссию два сочинения: 1) «Тепловая диссоциация» (компилятивная работа) и 2) «Определение декремента затухания акустических резонаторов» (экспериментальная работа, сделанная под руководством профессора П. Н. Лебедева).

В 1902 году выдержал государственные экзамены и был выпущен с дипломом первой степени. По окончании университетского курса был физико-математическим факультетом Московского университета оставлен при кафедре физики для приготовления к профессорскому званию и продолжал работать под руководством профессора П. Н. Лебедева. В том же 1902 году факультетом был избран на должность «лаборанта» кафедры физики и начал руководить работами студентов в учебной физической лаборатории.

В 1904 году Обществом любителей естествознания, антропологии и этнографии был удостоен премии имени Мошнина за работу по акустике под заглавием «Сравнение методов определения силы звука».

В 1908 году В. Д. Зёрнов выдержал при физико-математическом факультете Московского университета магистерские экзамены; в начале 1909 года защитил диссертацию на тему «Абсолютное измерение силы звука». Советом Московского Университета был утвержден в ученой степени «Магистра физики». В конце 1908 года выступал с докладами о своих работах по акустике на первом Менделеевском Съезде в Петербурге.

После защиты диссертации В. Д. Зёрнов был избран физико-математическим факультетом приват-доцентом и командирован за границу с факультетской стипендией «для усовершенствования в науках». За границей работал в Гейдельберге и знакомился с постановкой преподавания в высших учебных заведениях Германии и Англии. Во время заграничной командировки слушал лекции Рентгена, Ленарда, В. Вина, знакомился с научными работами в лабораториях Резерфорда (Манчестер), Дж. Дж. Томсона (Кембридж), Рикке (Геттинген) и др.

Первого июля 1909 года В. Д. Зёрнов был назначен профессором и заведующим кафедрой физики вновь открытого Саратовского Университета. Вернувшись, в связи с этим назначением, из-за границы и переехав в Саратов, он приступил к организации кафедры, лаборатории и лекционного кабинета, а с сентября 1909 года начал читать курс физики для студентов медицинского факультета Саратовского Университета, который был открыт в 1909 году в составе одного медицинского факультета.

С самого начала работы в Саратовском Университете В. Д. Зёрнов состоял членом строительной комиссии и по его указаниям был спроектирован Физический институт Саратовского Университета. Еще во временном помещении физической лаборатории, до начала войны 1914 года, Владимир Дмитриевич продолжал свои работы по акустике, а также по вопросам радиоактивности лечебных грязей, сделал исследование по определению показателя преломления десятисантиметровых волн при переходе из воздуха в воду. Метод, примененный в этой работе, был совершенно оригинальным (работа осталась неопубликованной из-за обстоятельств военного времени).

В. Д. Зёрнов ряд лет состоял председателем Саратовского общества естествоиспытателей и (впоследствии) – его почетным членом. В 1910 году Советом Саратовского университета он был командирован на радиологический съезд в Брюссель. В 1912 году выступил с рядом докладов о своих работах на съезде естествоиспытателей и врачей в Тифлисе.

Осенью 1913 года строительство физического института Саратовского университета было закончено, и В. Д. Зёрнов был занят его оборудованием. К началу 1914 года институт был снабжен всем необходимым для учебной и научной работы, и кафедра физики перешла в новое помещение.

В военное время большая часть помещения физического института была превращена в хирургический госпиталь, для которого В. Д. Зёрнов оборудовал в помещении института рентгеновскую лабораторию и руководил ее работой. В связи с военным временем им была организована в помещении института значительной мощности военная мастерская, изготовлявшая для военного ведомства тонкие измерительные инструменты, необходимые при изготовлении вооружения.

Осенью 1917 года был открыт в Саратовском Университете физико-математический факультет[[10]](#footnote-10) и В. Д. Зёрнов был избран его первым деканом. 1918–1919 учебный год он был занят, главным образом, организацией преподавания на вновь открытом факультете. Надо заметить, что ему удалось привлечь на работу в Саратовский Университет исключительно крупные научные силы (профессоров Голубева, Привалова, Богуславского и др.).

Осенью 1918 года В. Д. Зёрнов Советом Университета был избран на должность ректора Саратовского Университета, на каковую он переизбирался в 1919 и 1920 гг. Как известно, эти годы были исключительно трудны в хозяйственном отношении, и Владимиру Дмитриевичу приходилось употреблять много усилий для поддержания нормальной работы в Университете.

В 1917 году В. Д. Зёрнов был рекомендован физико-математическому факультету Московского Университета в качестве профессора физики, но не имя возможности в столь трудное время оставить административную работу в Саратовском университете, от рекомендации отказался. В 1921 году он перешел на работу в Москву и с осени 1921 года занял кафедры физики во втором Московском Государственном Университете и в Ломоносовском институте.

В 1924 году В. Д. Зёрнов по конкурсу был избран профессором и заведующим кафедрой физики Московского института инженеров путей сообщения (впоследствии – Института инженеров транспорта, МИИТ). Параллельно с работой в МИИТ, по совместительству, он заведовал кафедрами в институте имени Г. В. Плеханова, позднее – в Военно-транспортной академии, а после перевода академии в Ленинград принял заведование кафедрой в Московском высшем техническом училище имени Н. Э. Баумана. В 1943–1944 гг. читал лекции и заведовал кафедрой инженерных курсов Народного Комиссариата путей сообщения. В 1934–1935 гг. состоял заместителем директора МИИТ, заведующим научно-учебной частью.

В 1938 году В. Д. Зёрнов был утвержден ВАКом в ученой степени доктора физико-математических наук без защиты диссертации. В 1944 году награжден Орденом Трудового Красного Знамени, в 1945 году – медалью «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.», в 1944 году – значком «Почетный железнодорожник», в 1946 году (к 50-летию МИИТ) – именными часами Министра путей сообщения.

В 1932–1937 гг. Владимир Дмитриевич руководил работой «Университета культуры» при МИИТ и многократно солировал в концертах как исполнитель-скрипач. Многие годы состоял концертмейстером оркестра профсоюза высшей школы и научно-исследовательских учреждений, участвуя в выступлениях коллектива в учебных заведениях и госпиталях.

1.V.1944 г.»

Библиографический список

1. *Зёрнов В. Д.* Записки русского интеллигента / публ., вступ. статья, коммент. и указ. имен В. А. Соломонова ; под ред. А. Е. Иванова. М. : Индрик, 2005. 400 с.
2. *Вейнберг Б. П.* Впечатления от первого международного физического конгресса // Вестн. опытной физики и элементарной математики. 1900. № 283. С. 145–150. URL : www.vofem.ru/ru/issues/1900 (дата обращения : 22.04.2015).
3. Научное наследство / АН СССР. Архив АН СССР / отв. ред. С. Р. Микулинский и др. М. : Наука, 1990. Т. 15 : Научная переписка П. Н. Лебедева / сост. и авт. коммент. Е. И. Погребысская, отв. ред. В. А. Фабрикант. С. 455–499. URL : http://www.arran.ru/? q=publication&guid=42C5C81A-EDAA-1038-3B07-940A455980B2 (дата обращения : 22.04.2015).
4. Петр Николаевич Лебедев : Библиографический указатель / сост. А. М. Лукомская ; ред. К. И. Шафрановский ; отв. ред. акад. Д. В. Наливкин. М., Л. : Изд-во АН СССР, 1950. 186 с.
5. Правила для соискания премии имени В. П. Мошнина // Вестн. опытной физики и элементарной математики. 1888. Вып. 59. С. 255–257. URL : http://www.vofem. ru/ru/issues/1888/5/11/59/ (дата обращения : 22.04.2015).
6. *Зёрнов В. Д.* Учитель и друг // Вопр. истории естествознания и техники. 2004. № 4. С. 143–149.
7. *Аникин В. М.* «Фабрика молодых физиков» П. Н. Лебедева и Саратовский университет // УФН. 2016. Т. 186, № 2. С. 169–173.
8. *Аникин В. М.*, *Пойзнер Б. Н.*, *Соснин Э. А.*, *Шувалов А. В*. Феномен научной школы : история, типология получения и передачи знаний, психология коммуникаций / под общ. ред. В. М. Аникина. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2015. 232 с.
9. *Зёрнов В. Д.* Физический Институт Императорского Николаевского университета в Саратове // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Физика. 2014. Т. 14, вып. 1. С. 59–64.
10. *Голубков П. В.* Константин Александрович Леонтьев // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Физика. 2014. Т. 14, вып. 1. С. 65–68.
11. *Аникин В. М.* Приобретать уменье делать физические измерения и исследования. К 100-летию физического образования и физической науки в Саратове // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Физика. 2014. Т. 14, вып. 1. С. 53–58.
12. Протоколы заседаний Совета за январь–март 1916 года // Изв. Сарат. ун-та, 1917. Т. VIII, вып. 1 и 2. Университетская летопись. С. 1–76.
13. *Семёнов В. Н.* Ректоры Саратовского университета : Факты жизни и деятельности. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 1999. 202 с.

**Правила для авторов**

(публикация в открытом доступе)

**1. Общие положения**

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.
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 трем группам научных специальностей и соответствующим им отраслям науки, по которым присуждаются ученые степени (число групп уменьшено в соответствии с письмом Минобанауки России от 26.02.2018):

* 01.04.00 Физика (01.04.03 Радиофизика);
* 05.13.00 Информатика, вычислительная техника и управление (05.13.05 Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления);
* 08.00.00 Экономические науки (08.00.05 Экономика и управление народным хозяйством).

1. Объем статьи не должен превышать 16 страниц (1 печатного листа).
2. 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**

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. Далее приводится заглавие статьи, инициалы и фамилии авторов, аннотация и ключевые слова на английском языке.
3. Далее текст статьи и библиографический список на русском языке.

**3. Требования к оформлению рукописи**

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).
2. Все страницы рукописи, включая библиографический список, таблицы, рисунки, следует пронумеровать по центру внизу страницы.
3. Векторные величины выделяются полужирным шрифтом.
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.
5. 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.
6. Нумеровать следует наиболее важные формулы, на которые имеются ссылки в последующем тексте. Номер располагают по правому краю полосы по центру формулы.
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. *Игнатьев А. В.*, *Ляшенко А. В.* Магнитоэлектроника СВЧ-, КВЧ-диапазонов в пленках ферритов. М. : Наука, 2005. 380 с.

Образец описания статьи в журнале:

1. *Игнатьев 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.
2. *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. Р. 719–731.

Образец описания статьи в сборнике:

1. *Игнатьев 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:

1. Пат. 72788 Российская Федерация, МПК7 H01 L43/08, H01 L27/14, G01 R33/05, G01 R33/04. Устройство для измерения магнитного поля */* заявителиИгнатьев 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**

* 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).
  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.
  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. 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.
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 трем группам научных специальностей и соответствующим им отраслям науки, по которым присуждаются ученые степени (число групп уменьшено в соответствии с письмом Минобанауки России от 26.02.2018):

* 01.04.00 Физика (01.04.03 Радиофизика);
* 05.13.00 Информатика, вычислительная техника и управление (05.13.05 Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления);
* 08.00.00 Экономические науки (08.00.05 Экономика и управление народным хозяйством).

1. Объем статьи не должен превышать 16 страниц (1 печатного листа).
2. Для публикации статьи автору необходимо представить в редакцию следующие материалы и документы (1 экз.):
   1. сопроводительное письмо;
   2. сведения об авторах: фамилии, имена и отчества (полностью), рабочий адрес, телефоны, e-mail организации;
   3. экспертное заключение о возможности открытого опубликования;
   4. 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**

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).
2. Все страницы рукописи, включая библиографический список, следует пронумеровать по центру внизу страницы.
3. Векторные величины выделяются полужирным шрифтом.
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.
5. 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.
6. Нумеровать следует наиболее важные формулы, на которые имеются ссылки в последующем тексте. Номер располагают по правому краю полосы по центру формулы.
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. *Игнатьев А. В.*, *Ляшенко А. В.* Магнитоэлектроника СВЧ-, КВЧ-диапазонов в пленках ферритов. М. : Наука, 2005. 380 с.

Образец описания статьи в журнале:

1. *Игнатьев 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.
2. *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. Р. 719–731.

Образец описания статьи в сборнике:

1. *Игнатьев 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 Сарат. ун-та, 2004. Вып. 1 : Многофункциональные комплексированные устройства и системы СВЧ- и КВЧ-диапазонов. С. 139–151.

Образец краткого описания патентов:

1. Пат. 72788 Российская Федерация, МПК7 H01 L43/08, H01 L27/14, G01 R33/05, G01 R33/04. Устройство для измерения магнитного поля */* заявителиИгнатьев 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**

* 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).
  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.
  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 статии и обзоры, монографии по следующей тематике: гетеромагнитная микро- и наноэлектроника, 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** |  |
| *Чесаков В. С*., *Сотов Л. С*. Способ построения формирователей хаотических последовательностей……………………………………………………………... | 4 |
| *Румянцев Г. Н*., *Игнатьев А. А*., *Проскуряков Г. М.* К вопросу о летных испытаниях магнито-инерциального модуля…………………………………………… | 10 |
| *Шаповалов А. С.*, *Ляшенко А. В*. Модуляционные спектры флуктуаций сигнала многодиодного генератора СВЧ | 27 |
| *Игнатьев А. А*., *Кудрявцева С. П.*, *Романченко Л. А.* Геомагнитные автономные навигационные системы (обзор патентов)………………………………….. | 43 |
| **Методические аспекты физического образования** |  |
| *Романченко Л. А.*, *Кочуганова К. П.*Методы определения коэффициента поверхностного натяжения жидкости………………………………………………… | 49 |
| **Экономика в промышленности** |  |
| *Краснова О. В.* Состояние и перспективы развития инновационной деятельности в Саратовской области……………………………………………………... | 55 |
| *Плотников А. Н*., *Плотников Д. А*., *Кошкарев А. В.* Инновационные подходы к использованию энергоресурсов на предприятии……………………………. | 60 |
| Приложение……………………………………………………………… | 68 |
| *Аникин В. М*., *Игнатьев А. А*. Организатор физико-математического образования в Саратовскоом университете Владимир Дмитриевич Зёрнов(к 140-летию со дня рождения)……………………………………………………………………….. | 68 |
| Правила для авторов (публикация в открытом доступе)………….… | 87 |
| Правила для авторов (публикация в ограниченном доступе)……..… | 90 |
| Правила публикации в Центре специальной информации ОАО «Институт критических технологий»…………………………………………………. | 92 |

**contents**

|  |  |
| --- | --- |
| Foreword….…………………………………………………….…….. | 3 |
| **Theoretical and Experimental Studies, Computer Technology** |  |
| *Chesakov V. S*., *Sotov L. S*. New approach to implement chaotic sequences generators………………………………………………………………………………….. | 4 |
| *Rumyantsev G. N*., *Ignatyev A. A*., *Proskuryakov G. M*. About flight tests of magneto-inertial module………………………………………………………………… | 10 |
| *Shapovalov A. S*., *Lyashenko A. V*. Modulation spectrums of the signal fluctuations of the multidiode Microwave generator…………………………………………... | 27 |
| *Ignatiev A. А*., *Kudryavceva S. P*., *Romanchenko L. A*. Geomagnetic autonomous navigation systems (patent review)………………………………………………… | 43 |
| **Methodological Aspects of Physical Education** |  |
| *Romanchenko L. A*., *Kochuganova K. P*.Methods for determining of liquid surface tension coefficient………………………………………………………………….. | 49 |
| **Economy in the industry** |  |
| *Krasnova O. V.* Status and prospects of development of innovative activities in the Saratov region……………………………………………………………………….. | 55 |
| *Plotnikov A. N*., *Plotnikov D. A*., *Koshkarev A. V.* Innovative approaches to the use of energy resources at enterprise …………………………………………………… | 60 |
| Application………………………………………………………………… | 68 |
| *Anikin V. M*., *Ignatiev A. A*. Organizer of physics and mathematics education at Saratov University Vladimir Dmitrievich Zernov (to the 140th anniversary of birth)… | 68 |
| Rules for authors (publication in open access)…….……………… | 87 |
| Rules for authors (publication of restricted access)…………………….. | 90 |
| Publication rules of Special Information Center ОJSC «Institute of critical technologies» ……………………………………………………………............ | 92 |

**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 24

**Теоретические и экспериментальные исследования.**

**Компьютерные технологии.**

**Методические аспекты физического образования.**

**Экономика в промышленности**

Под редакцией профессора *А.* *В.* *Ляшенко*

Отв. за выпуск *О.* *Г.* *Данке*

Редактор английского текста *Л. А. Романченко*

Технический редактор *О.* *Г.* *Данке*

Корректор *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 15.06.2018. Формат 60×84 1/16.

Усл. печ. л. 5,58 (6,0). Тираж 50. Заказ .

Издательство ОАО «Институт критических технологий».

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

Типография ИП Волков В. В. 410056, Саратов, Рабочая, 105

1. От России в работе конгресса участвовали академики Б. Б. Галицын и М. А. Рыкачев, профессора П. А. Зилов (Варшава), Д. А. Гольдгаммер (Казань), Г. Г. Де-Метц (Киев), П. Н. Лебедев (Москва), Н. Д. Пильчиков, Ф. Н. Шведов (Одесса), И. И. Боргман, Н. А. Гезехаус, Н. Г. Егоров, С. Ф. Терешин, М. А. Шателен (Петербург), А. Е. Ефимов, Ф. Я. Капустин (Томск) и др. [2]. [↑](#footnote-ref-1)
2. Премия имени Владимира Петровича Мошнина была присуждена в 1897 г. Ивану Филипповичу Усагину в качестве поддержки его приоритета в изобретении промышленного трансформатора. Такой же премии были удостоены ученики Петра Николаевича – Т. П. Кравец (1901), В. Я. Альтберг (1902, 1907), Б. В. Ильин и В. Е. Сребницкий (1911) [6]. В денежном выражении премия первоначально составляла 300 руб. [↑](#footnote-ref-2)
3. Первое знакомство П. Н. Лебедева и В. Д. Зёрнова состоялось в физическом практикуме осенью 1898 г. Студент второго курса В. Д. Зёрнов изучал в библиотечной комнате пособие Кольрауша (книги с круглого стола библиотеки выносить не разрешалось), оставив без присмотра в лаборатории парообразователь. «Вода в парообразователе закипела неожиданно скоро, и пар веселой струей выходил из отводного отверстия прибора, а я, не подозревая этого, мирно сидел за книжкой в библиотеке, – вспоминал В. Д. Зёрнов. – Вдруг слышу резкий окрик: «Кто это тут пакостит приборы?» Подозревая, что это именно я «пакощу приборы», так как в соседней комнате других практикантов в это время не было, я выскочил из библиотеки и у моего места увидал красавца-мужчину, который продолжал весьма нелестно отзываться о виновнике бедствия. Заметив сразу, что никакой беды не произошло, я спокойно выслушал еще несколько замечаний, не оправдываясь и не возражая, так как некоторую оплошность я все же допустил, и отметил с удовлетворением, что знакомство с знаменитым Лебедевым все же состоялось, хотя не знаю, вспоминал ли впоследствии П. Н. о нашем первом знакомстве» [6, с. 143–144]. [↑](#footnote-ref-3)
4. *Zernov W.* Über absolute Messungen der Schallintensität. (Erste Mitteilung) // Annalen der Physik. 1906. B. 21, № 1. S. 131–140. *Зёрнов В. Д.* Сравнение методов абсолютного измерения силы звука. (Первое сообщение) // ЖРФХО. 1906. Т. 38. Физический отдел. Вып. 7. С. 410–419. [↑](#footnote-ref-4)
5. *Zernov W.* Über absolute Messungen der Schallintensität. (Zweite Mitteilung). Die Rayleighsche Scheibe // Annalen der Physik. 1908. B. 26, № 1. S. 79–94. *Зёрнов В. Д.* Об абсолютном измерении силы звука. (Второе сообщение). Диск Рэлея // ЖРФХО. 1908. Т. 40. Физический отдел. Вып. 3. С. 70–83. [↑](#footnote-ref-5)
6. Речь идет о письме с рекомендаций В. Д. Зёрнова на должность профессора, которое П. Н. Лебедев направил декану физико-математического факультета Варшавского университета П. И. Митрофанову 25.10 (7.11) 1908 г. [3, письмо 356]. [↑](#footnote-ref-6)
7. На первый курс физико-математического факультета в 1917 году поступило 367 человек вместо 240 планировавшихся [1, с. 335]. [↑](#footnote-ref-7)
8. Текст этого письма (с расшифровкой подписей) весной 1982 г. прислала на кафедру общей физики физического факультета СГУ М. В. Зёрнова, дочь В. Д. Зёрнова. [↑](#footnote-ref-8)
9. В биографии физикохимика, профессора МГУ В. К. Семенченко отмечается, что он после обучения в Московском университете им. Шанявского специализировался в Саратовском университете по теоретической физике под руководством С. А. Богуславского (1919 г.). Позже работал ассистентом в Саратовском университете. [↑](#footnote-ref-9)
10. Постановлением Временного правительства физико-математический факультет в Саратовском университете утвержден с 1 (14) июля 1917 г. [↑](#footnote-ref-10)