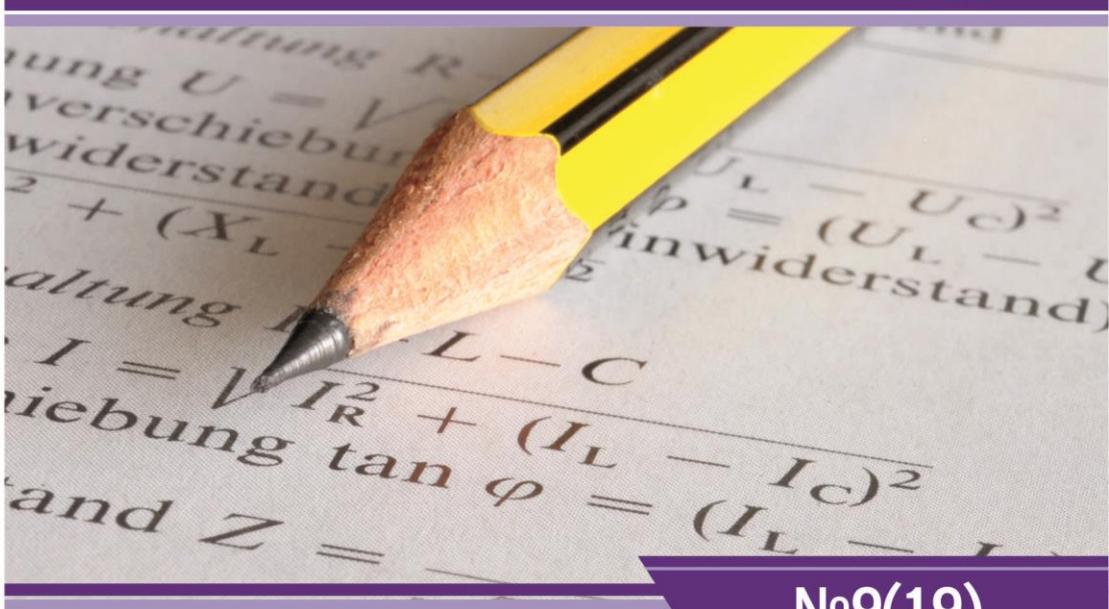


НАУЧНЫЙ  
ФОРУМ  
nauchforum.ru



№9(19)

# НАУЧНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ



# НАУЧНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Сборник статей по материалам XIX международной  
научно-практической конференции*

№ 9 (19)  
Ноябрь 2018 г.

Издается с декабря 2016 года

Москва  
2018

УДК 51/53+62

ББК 22+3

НЗ4

Председатель редколлегии:

*Лебедева Надежда Анатольевна* – доктор философии в области культурологии, профессор философии Международной кадровой академии, г. Киев, член Евразийской Академии Телевидения и Радио.

Редакционная коллегия:

*Ахмеднабиев Расул Магомедович* – канд. техн. наук, доц. кафедры строительных материалов Полтавского инженерно-строительного института, Украина, г. Полтава;

*Данилов Олег Сергеевич* – канд. техн. наук, научный сотрудник Дальневосточного федерального университета;

*Маршалов Олег Викторович* – канд. техн. наук, начальник учебного отдела филиала ФГАОУ ВО "Южно-Уральский государственный университет" (НИУ), Россия, г. Златоуст.

**НЗ4 Научный форум: Технические и физико-математические науки:** сб. ст. по материалам XIX междунар. науч.-практ. конф. – № 9 (19). – М.: Изд. «МЦНО», 2018. – 64 с.

ISSN 2541-8394

Статьи, принятые к публикации, размещаются на сайте научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU.

ISSN 2541-8394

ББК 22+3

© «МЦНО», 2018

## **Оглавление**

<b>Технические науки</b>	<b>5</b>
<b>Раздел 1. Технические науки</b>	<b>5</b>
<b>1.1. Информатика, вычислительная техника и управление</b>	<b>5</b>
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ Кобылкина Анастасия Николаевна	5
ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ NAGIOS В ЗАДАЧАХ МОНИТОРИНГА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ Лавров Андрей Александрович	9
ПРИМЕНЕНИЕ DSL ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ИСХОДНОГО КОДА ВСТРОЕННЫХ РЕАКТИВНЫХ СИСТЕМ Толмач Евгений Иванович	13
<b>1.2. Машиностроение и машиноведение</b>	<b>22</b>
ОБЗОР КОНСТРУКЦИИ МОСТОВОЙ КРАН-БАЛКИ, ВИДЫ И ЕЕ НАЗНАЧЕНИЕ Айменова Гулжан Елеусызовна	22
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ Садгова Наиля Сахлиялы	25
<b>1.3. Строительство и архитектура</b>	<b>30</b>
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ Гурьяшкина Татьяна Александровна Каюмова Юлия Маратовна	30
<b>1.4. Энергетика</b>	<b>35</b>
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ТЕСТИРОВАНИЯ, НАСТРОЙКИ И РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ, РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ Каверин Владимир Викторович Рахымбек Жанболат Ерболұлы	35

<b>Физико-математические науки</b>	<b>40</b>
<b>Раздел 2. Математика</b>	<b>40</b>
<b>2.1. Геометрия и топология</b>	<b>40</b>
ГЕОМЕТРИЯ В ИТАЛИИ В ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЕ XX ВЕКА Дулина Анастасия Петровна	40
<b>Раздел 3. Механика</b>	<b>46</b>
<b>3.1. Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры</b>	<b>46</b>
ЭКВИВАЛЕНТНАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ КОМПОЗИТНЫХ АРМИРОВАННЫХ ТРУБ Опарин Владимир Борисович Синюгин Александр Александрович	46
<b>Раздел 4. Физика</b>	<b>51</b>
<b>4.1. Физика полупроводников</b>	<b>51</b>
ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЕ ПРОФИЛЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИМЕСИ НА ПАРАМЕТРЫ ВАРАКТОРОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ДАВЛЕНИЯ Маматкаримов Одилжон Охундедаевич Турсунов Икромжон Гуламжонович	51
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕСНЫХ МИКРОВКЛЮЧЕНИЙ НИКЕЛЯ И КОБАЛЬТА В КРЕМНИИ Тургунов Нозимжон Абдуманнопович	57

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

### РАЗДЕЛ 1.

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

### 1.1. ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

#### ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

***Кобылкина Анастасия Николаевна***

*студент Ливенский филиал федерального государственного  
бюджетного образовательного учреждения высшего образования  
«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»,  
РФ, г. Ливны*

#### SIMULATION MODELING

***Anastasia Kobylkina***

*student  
of Livensky branch of the Federal state budgetary educational institution  
of higher education "Orlovsky state University of I.S. Turgenev",  
Russia, Livny*

**Аннотация.** В современное время все чаще и чаще люди имеют дело с моделированием каких либо объектов, но не всегда детали, изображенные на электронном или бумажном носителе дают желаемый результат в просмотре некоторых параметров. Поэтому для этих целей был разработан метод имитационного моделирования, так как именно он помогает в режиме ее «имитации» создать в памяти компьютера процессы аналоги, которые в свою очередь позволяют качественно

исследовать структуру и функции реальной системы. Эта статья поможет разобраться и удостовериться в важности и колоссальной необходимости познания данного метода.

**Abstract.** In modern times, more and more people are dealing with the modeling of any objects, but not always the details depicted on electronic or paper give the desired result in viewing some parameters. Therefore, for these purposes, a method of simulation modeling was developed, as it helps in the mode of its "simulation" to create analogs in the memory of the computer processes, which in turn allow qualitative study of the structure and functions of the real system. This article will help to understand and verify the importance and the enormous need for knowledge of this method.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование; имитация; логико-математическое описание объекта; агентное моделирование; дискретно-событийное моделирование; системная динамика; метод Монте – Карло.

**Keywords:** simulation modeling; simulation; logical-mathematical description of the object; agent modeling; discrete-event modeling; system dynamics; Monte Carlo method.

Имитационное моделирование — метод, позволяющий строить модели, описывающие процессы так, как они проходили бы в действительности. Запустив во времени такую модель, мы получим результаты, которые были выбраны случайным характером процесса. Итог, удовлетворяющий нас - достаточно устойчивая статистика.

В данном методе исследования, изучаемый объект заменяется моделью, с достаточной точностью, которая описывает реальные характеристики данной нам системы. С ним проводятся определенные эксперименты с целью получения углубленной информации. Экспериментирование с моделью называют имитацией.

Имитация (от лат. Imitation – «подражание») – это понимание сути явления, не прибегая к экспериментальным работам над реальным объектом.

Моделирование различных систем с помощью имитации – имеет отдельный раздел математического моделирования, так как является необходимым для экспериментирования на компьютере в целях проектирования и анализа функционирования данного объекта.

Существует определенный класс объектов, для которых не разработаны аналитические методы решения. В этом случае аналитическая модель заменяется имитатором или имитационной моделью.

Имитационная модель (англ. simulation modeling) – метод исследования, при котором изучаемая система заменяется моделью,

с достаточной точностью. Она должна отражать логику и закономерности поведения объекта во времени и пространстве.

Целью имитационного моделирования является просмотр поведения исследуемой системы на основе результатов анализа взаимосвязей между ее элементами для проведения различных экспериментов.

Для более точного понимания имитационной модели, можно привести некоторые примеры данного метода:

1. проектирование производственных, финансовых и экономических систем, а в дальнейшем их анализ и итог;
2. определение требований к рассматриваемому оборудованию, протоколам сетей связи и программному обеспечению компьютерных систем;
3. модернизация различных процессов в деловой, военной и политической сфере.

Это малая часть, которая уже показывает важность имитационной модели в повседневной работе человека.

А какие же существуют плюсы и минусы этой системы?

Достоинства:

1. позволяет решать задачи различной сложности в экстремальных условиях, таких как критические или аварийные, и даже в космосе;
2. сокращает время и деньги, то есть экономит ресурсы, что очень важно в современный век, век технологий;
3. позволяет исследовать результаты натуральных испытаний, достигать наилучших решений за счет гибкости и легкости варьирования структуры;
4. является практически единственным реализуемым методом для разбора сложных систем.

Недостатки:

1. каждое решение носит частный характер;
2. относительно большая сложность создания модели;
3. на данный момент не существует надежного метода оценки адекватности.

В имитационном моделировании существуют основные методы, которые используются чаще всего это:

1. Агентное моделирование.

Является новым направлением, которое используется для исследования децентрализованной системы, определяется не глобальными правилами и законами, а наоборот является результатом индивидуальной активности. Целью этого метода является получение представления об этих глобальных правилах и общем поведении системы, исходя из предположений о частном поведении её отдельных активных объектов и его взаимодействии в системе.

## 2. Дискретно-событийное моделирование.

Метод функционирования системы представляется как хронологическая последовательность событий. Этот метод наиболее развит и применяется в различных задачах массового обслуживания, а так же транспортных и производственных систем. Этот вид наиболее подходит для моделирования производственных процессов.

## 3. Системная динамика.

Направление в рассмотрении сложных систем, в котором происходит исследование поведения во времени, а так же взаимодействие между структурной элементами и взаимосвязи между объектами.

В случаях, когда аналитические методы решения задач неприменимы приходится прибегать к универсальному методу статистического моделирования – к методу Монте Карло.

Идея данного метода: «Вместо того, что бы описывать процесс с помощью аналитического аппарата, производится розыгрыш случайного явления с помощью процедуры, которая включает в себя случайность, а так же случайный результат. При запуске случайного процесса результат складывается каждый раз по-разному. Используя данный метод мы пользуемся случайностью, как аппаратом исследования».

Методом Монте – Карло может быть решена любая вероятностная задача. Но, актуальность этого метода доказана только тогда, когда процедура розыгрыша будет проще, чем аналитический расчет.

Методика Моне-Карло, состоит из следующих этапов:

1. моделирование на ЭВМ псевдослучайных последовательностей имитирующих случайные значения параметров при каждом испытании;
2. использование полученных числовых последовательностей;
3. обработка результатов моделирования.

Рассмотрим плюсы и минусы метода имитационного моделирования (Монте – Карло).

Достоинства:

1. позволяет учесть весь диапазон возможных исходных значений;
2. проработка анализов и получение интервальных значений проектных рисков.

Недостатки:

1. формирование надежной программной поддержки и установление типа распределения по первичным факторам;
2. необходимы аналитики, профессионалы с высшим уровнем подготовки.

### **Заключение:**

В настоящее время, специалист в области математического моделирования очень ценный сотрудник, так как успешная деятельность любой компании не обходится без моделирования, которое необходимо для сокращения времени и затрат на реальные эксперименты.

### Список литературы:

1. Аристов С.А. Имитационное моделирование экономических процессов: Учеб. Пособие. – Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. Экон. ун-та, 2009. – 121 с.
2. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 399 с.

## ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ NAGIOS В ЗАДАЧАХ МОНИТОРИНГА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

*Лавров Андрей Александрович*

*канд. техн. наук, ассистент,  
Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина),  
РФ, г. Санкт-Петербург*

## ADAPTATION NAGIOS MONITORING SYSTEM FOR MONITORING REAL-TIME COMPUTING SYSTEMS

*Andrey Lavrov*

*Ph.D. in Information Technology, assistant,  
Saint-Petersburg Electrotechnical University ETU "LETI",  
Russia, Saint-Petersburg*

**Аннотация.** В работе рассматриваются актуальные вопросы мониторинга информационных систем реального времени; особенности мониторинга и диагностики подобных систем; факторы, препятствующие успешному использованию классических систем мониторинга в задачах эксплуатации современных систем реального времени. Предлагается и обосновывается архитектура системы сетевого мониторинга, основанная на базе системы Nagios, удовлетворяющая современным требованиям к задачам мониторинга систем реального времени.

**Abstract.** This paper presents actual problems of monitoring real-time information systems, features of monitoring and diagnostic such systems, problems with application of typical network monitoring systems for monitoring modern real-time computing systems. Author presents architecture of network monitoring system for monitoring real-time computing systems

based on Nagios open-source software for network monitoring, describes modifications in architecture in compare with typical Nagios architecture needed for realizing efficient monitoring of real-time computing systems.

**Ключевые слова:** сетевой мониторинг; системы мониторинга; Nagios; системы реального времени.

**Keywords:** network monitoring; monitoring systems; Nagios; real-time computing systems.

Постоянный контроль за работой вычислительной сети, составляющей основу любого современного цифрового вычислительного комплекса или другой распределенной системы, необходим для поддержания системы в работоспособном состоянии и оперативного устранения сбоев и неполадок. Под мониторингом вычислительной сети понимают функции постоянного наблюдения в пределах сети с целью поиска медленных или неисправных систем, а также оповещение сетевых администраторов о сбоях и иных неисправностях с использованием различных средств оповещения [4].

К современным информационным системам предъявляются всё более жесткие требования по отказоустойчивости и надежности, что требует разработки соответствующих средств их мониторинга и диагностики. Современные системы реального времени, системы критической инфраструктуры требуют моментального реагирования на возникающие в их функционировании инциденты. Классические системы мониторинга, основанные на регулярном опросе объектов мониторинга, уже не удовлетворяют возросшим требованиям [2]. Таким образом, актуальна задача разработки новых систем мониторинга или модификации уже существующих систем сетевого мониторинга (ССМ) с целью обеспечения их эффективного функционирования по решению задач обслуживания современных информационных комплексов с учетом актуальных требований по времени реагирования, отказоустойчивости и надежности.

В настоящее время широкое распространение среди ССМ получила система Nagios, разработанная на базе открытого исходного кода с использованием принципов модульной архитектуры и предоставляющая широкие возможности по мониторингу состояния сетевых узлов [1]. Вместе с тем, Nagios обладает рядом недостатков, препятствующих её успешному применению в задачах мониторинга систем реального времени, а именно:

- система не отказоустойчива, масштабирование возможно посредством переносом части проверок на отдельные сервера;

- наличие слишком большого интервала между проверками и замерах отслеживаемых параметров;
- обработка и хранение данных предполагают усреднение показателей, что делает невозможным получить точные значения параметров объектов мониторинга в заданный момент времени в прошлом.

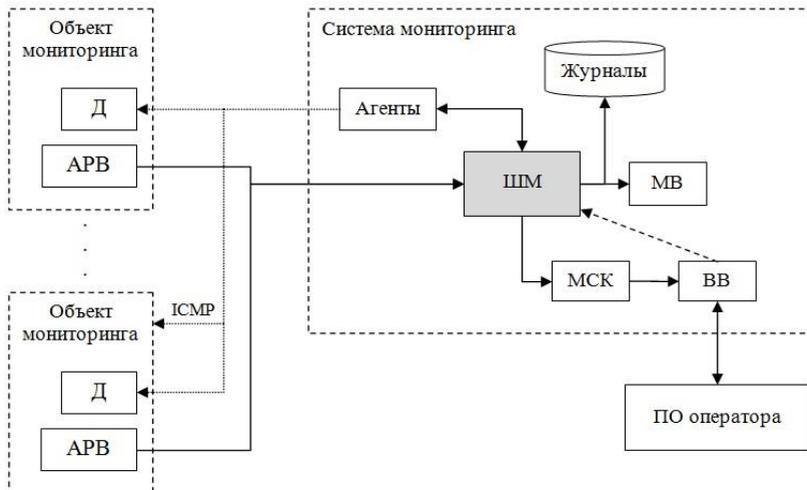
В работе предлагается архитектура ССМ, построенная на основе системы Nagios и лишенная перечисленных недостатков.

Схема архитектуры ССМ представлена на рис. 1.

ССМ состоит из следующих основных модулей:

1. *Шасси мониторинга (ШМ)* – внутренний базовый модуль ССМ, который предоставляет интерфейсы для подключения агентов, обеспечивает загрузку и управление конфигурацией системы, управляет модулями оповещения и журналирования и остальными компонентами ССМ. Построен на базе шасси Nagios.

2. *Агенты* опрашивают удаленные датчики или узлы напрямую (например, по протоколу ICMP для определения доступности узла) и передают полученную информацию ШМ.



**Рисунок 1. Архитектура системы мониторинга**

3. *Журналы* хранят числовую и текстовую информацию о событиях, происходящих на объектах мониторинга; информация поступает в файлы журналов непосредственно от ШМ.

4. *Модуль визуализации (МВ)* отвечает за графическое представление информации о состоянии определенного параметра мониторинга за определенный период времени.

5. *Модуль состояния комплекса (МСК)* хранит текущее состояние всех отслеживаемых параметров узлов – объектов мониторинга и обеспечивает взаимодействие с виджетом визуализации (ВВ). МСК регулярно передает виджету визуализации информацию о состоянии объектов мониторинга. При возникновении нештатной ситуации МСК уведомляет ВВ о событии.

6. *Датчики (Д)* устанавливаются на узлах мониторинга и предоставляют агентам информацию о состоянии отслеживаемых параметров работы объектов мониторинга. Датчики используются для получения информации о состоянии только тех параметров, период опроса которых составляет более 1 секунды. Для отслеживания состояния параметров, период опроса которых должен составлять менее 1 секунды, используются агенты реального времени.

7. *Агенты реального времени (АРВ)* устанавливаются на узлах – объектах мониторинга – для получения значений параметров, время реакции на изменение состояния которых со стороны ССМ должно быть минимальным.

8. *Виджет визуализации (ВВ)* реализует функции API для доступа к системе со стороны пользователя, обеспечивает отображение поступающей от ССМ информации и получение от пользователя команд по управлению ССМ.

Принципиальное отличие представленной архитектуры от классических систем мониторинга, основанных на взаимодействии агентов с датчиками или объектами мониторинга напрямую, заключается в использовании агентов реального времени, обеспечивающих незамедлительное уведомление ССМ о нештатных ситуациях в отслеживаемых параметрах. Таким образом, отличительной особенностью предложенной архитектуры является использование активных агентов на стороне объектов мониторинга, инициирующих взаимодействие с ССМ в случае нештатных ситуаций.

Ядром системы является шасси мониторинга, основанное на шасси мониторинга Nagios, но оптимизированное для обеспечения возможности работы с системами реального времени, что потребовало изменения конфигурации ядра посредством наложения ряда специально разработанных патчей, а также разработки модуля приема данных от агентов реального времени. Агенты подключаются к ШМ с использованием стандартного механизма подключения агентов. Журналы, агенты и датчики являются стандартными компонентами системы Nagios.

Прочие модули, включая агенты реального времени, разрабатываются отдельно исходя из спецификации ССМ, требований к процессам мониторинга и техническим характеристикам объектов мониторинга.

Система мониторинга, основанная на рассмотренной архитектуре, была успешно разработана и внедрена в эксплуатацию в составе бортового цифрового вычислительного комплекса для подвижных объектов [3].

### **Список литературы:**

1. Josephsen D. Building a Monitoring Infrastructure with Nagios. – Prentice Hall, 2007. 264 с.
2. Андриюшкевич С.К., Ковалёв С.П. Интеллектуальный мониторинг распределенных технологических объектов с использованием информационных моделей состояния // Известия Томского политехнического университета. – 2010. Т. 317, № 5. С. 35-39.
3. Лавров А.А., Лисс А.Р. Программные средства мониторинга целостности конфигурации цифрового вычислительного комплекса обработки гидроакустических сигналов // Гидроакустика. – 2012. Выпуск 16(2), С. 90-97.
4. Уилсон Э. Мониторинг и анализ сетей. Методы выявления неисправностей. – М.: Лори, 2012. 386 с.

## **ПРИМЕНЕНИЕ DSL ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ИСХОДНОГО КОДА ВСТРОЕННЫХ РЕАКТИВНЫХ СИСТЕМ**

*Толмач Евгений Иванович*

*PhD студент,*

*Молдавский Государственный Университет  
Республика Молдова, г. Кишинёв*

## **ON USING CUSTOM DSL FOR GENERATION OF EMBEDDED REACTIVE SYSTEMS**

*Evgheeni Tolmaci*

*PhD student at Moldova State University  
Moldova, Chisinau*

**Аннотация.** В последнее десятилетие Интернет Вещей неуклонно растёт. Глобальный рынок распределённых устройств нуждается в новых решениях, которые будут соответствовать современным трендам: платформи-независимость и высокая модульность. Процесс разработки встроенного ПО также нуждается в оптимизации.

Эта статья предлагает решение вышеизложенной проблемы. В ней представлен предметно-ориентированный язык для автоматической генерации реактивных систем. Его целью является генерация исходного кода для различных платформ, используя модули и конфигурационные файлы.

**Abstract.** Over the last decade the IoT (Internet of Things) is constantly accelerating its growth. The global market of distributed devices with embedded software on board is demanding the new solutions to meet the new trends: platform independency and high modularity. The R&D process itself is also demanding optimization.

This paper proposes a solution for the problems enumerated above. It presents a new Domain-Specific Language (DSL) for an automated generation of embedded actor-oriented systems. Its purpose is to generate the code for different platforms using the same modules and configuration files.

**Keywords:** actor, message broker, message-oriented middleware (MOM), process scheduler, domain specific language (DSL), actor-oriented software, embedded software, Internet of Things.

### Вступление

Индустрия встроенного ПО относительно молода. Она расцвела с появлением персональных компьютеров и переносимых устройств. Прогнозируется, что глобальный рынок встроенного ПО вырастет с ~\$10 млрд. в 2016 году до ~\$19 млрд. в 2022. Ожидается, что среднегодовой темп роста будет на уровне 9 % [2]. В то же самое время Интернет Вещей делает свою революцию движимую относительно дешёвыми устройствами и повышающейся скорости беспроводного соединения. Рынок IoT на глобальном рынке, вероятно, вырастет до ~\$11 трлн. [12].

Значительная доля ПО для IoT во многих аспектах зависит от платформы. Следовательно, для повторного использования уже реализованной логики, исходный код должен быть перекомпилирован или переконфигурирован в зависимости от встроенной платформы. В некоторых случаях исходный код для различных платформ не совместим между собой, что в свою очередь может потребовать вмешательства для адаптации кода.

Целью данной статьи является оптимизация процесса адаптации при помощи DSL для автоматической генерации исходного кода под различные платформы.

## 1. Встроенное программное обеспечение на базе модели акторов

Встроенное ПО на базе модели акторов состоит из трёх основных компонентов: акторов, брокера сообщений и диспетчера задач.

*Акторы* являются инкапсулированными реактивными объектами, способными взаимодействовать друг с другом посредством передачи асинхронных сообщений. Эти вычислительные единицы в ответ на полученные сообщения могут выполнить следующее: отправить конечное число сообщений другим акторам, создать конечное число акторов, изменить внутреннее состояние, изменить своё поведение при получении других сообщений [3; 4]. Последовательность доставки и обработки сообщений не гарантируется, а некоторые действия могут выполняться параллельно [4]. Архитектура актор-ориентированных систем должна следовать философии "всё является актором".

*Брокер сообщений* является промежуточным ПО. Он является основным компонентом паттерна Message-Oriented Middleware (MOM). Главной задачей брокера является валидация, перевод и доставка сообщений между различными компонентами слабосвязанной системы. Он играет роль посредника в приложении, логически разделяя компоненты. Имплементация брокера сообщений базируется на одном из двух архитектурных паттернов: hub-and-spoke или сервисная шина. [5; 9].

*Диспетчер задач* это ещё один главный компонент ПО, построенного на базе модели акторов. Его целью является выполнение следующих задач [10]:

- Максимизация *пропускной способности*
- Минимизация *времени ожидания*
- Минимизация *времени выполнения*
- Максимизация *справедливости распределения ресурсов*
- Соблюдение *сроков выполнения*

Существуют четыре широко известные архитектуры планирования: простой Round Robin, Round Robin с прерываниями, Round Robin с прерываниями и функциональными очередями, Операционные Системы реального времени (RTOS). При разработке архитектуры встроенного ПО следует выбирать простейшее решение, соответствующее требованиям. Дополнительная сложность приводит к неоправданной потере времени при разработке и поддержке ПО. Также это может привести к падению производительности [1; 13].

## 2. Концепция

Актеры по определению являются атомарными вычислительными единицами (с точки зрения инкапсуляции). Они могут быть стандартизированы, модуляризированы и выделены в многоразовые библиотеки/модули. В то же самое время, диспетчер задач и брокер сообщений также являются целями стандартизации и повторного использования кода. Таким образом имплементация реактивного ПО может быть сведена к определению головного контроллера, ответственного за следующие задачи:

- Импорт многоразовых библиотек/модулей
- Импорт многоразового брокера сообщений
- Импорт многоразового диспетчера задач
- Инициализация и конфигурация начальных акторов
- Инициализация и конфигурация брокера сообщений
- Инициализация и конфигурация диспетчера задач
- Регистрация акторов в брокере сообщений
- Планирование задач

На рисунке 2.1 представлен пример исходного кода головного контроллера встроенного ПО основанного на модели акторов. Имплементация может отличаться в зависимости от языка программирования и API применяемых библиотек, однако сама концепция остаётся неизменной.

```
// Import the libraries
#include <a_broker_library.h>
#include <a_n_actor_library.h>
#include <a_scheduler_library.h>

int main() {
    // Initialize the initial actors
    Actor ledActor = LedActor(PIN_1);
    Actor serialPortListenerActor = SerialPortListenerActor(9600);

    // Initialize the message broker
    MessageBroker broker = BufferedMessageBroker();
    broker.register("led", ledActor);
    broker.register("serial", serialPortListenerActor);

    // Initialize the scheduler &
    Scheduler scheduler = RoundRobinScheduler();
    scheduler.schedule(ledActor);
    scheduler.schedule(serialPortListenerActor);
    scheduler.run();
}
```

**Рисунок 2.1.**

Как мы можем заметить, головной контроллер, являясь входной точкой программы, выполняет лишь конфигурационную функцию. Следовательно, если мы унифицируем API всех акторов, брокера сообщений и диспетчера задач, то мы сможем генерировать исходный код головного контроллера автоматически на основе конфигурационных данных. Это позволит повторно использовать конфигурацию для генерации контроллеров для различных платформ и языков программирования.

### 3. Спецификация предметно-ориентированного языка (DSL)

Для того чтобы разделить конфигурацию от платформы/языка, необходим язык для чёткого и независимого описания конфигурации. Существует множество языков разметки, которые могли бы удовлетворить нашим условиям (XML, JSON, YAML, TOML и др.), но, несмотря на их преимущества, в некоторых случаях они могут привести к существенному потреблению памяти и процессорного времени для обработки. Другой проблемой является излишняя многословность [6]. С другой стороны они не предоставляют возможности внедрения переменных среды и встроенных выражений.

В качестве альтернативы существующим языкам разметки может быть разработан предметно-ориентированный язык (DSL). *DSL* – языки программирования, предназначенные для выполнения задач в определённой предметной области. Они позволяют описать задачи минимизируя семантический разрыв между алгоритмом и исходным кодом [7; 11].

Мы разработаем DSL для описания генерации платформо-независимого и модульного кода для встроенных реактивных систем. Далее мы будем называть его ПАСТ (от англ. Powerful ACTors). Основными целями нашего языка являются: сокращение шаблонного кода, модульность сгенерированного кода, модульность и платформо-независимость конфигурационных файлов.

#### 3.1. Синтаксис языка и внутреннее представление

Модульность сгенерированного кода может быть достигнута при помощи стандартного инструментария языков программирования. Повторно-используемый код может быть вынесен в модули/библиотеки, которые должны храниться в централизованных репозиториях [8]. Для конфигурации реактивных сущностей мы ввели ключевое слово ‘actor’ (Рисунок 3.1). Оно имеет следующие атрибуты: name (уникальный идентификатор), address (логический адрес, применяемый для доставки сообщений), module (внешняя библиотека), class/type (идентификатор класса, включая пространство имён).

```
define actor named 'test' at '/foo/bar/address'  
  from 'periphery/Relay.h' as 'electricity::Relay'
```

**Рисунок 3.1.**

Следуя принципу DRY, мы решили предотвратить также и дублирование кода в конфигурационных файлах. Некоторые определения акторов могут частично повторяться. Модульность РАСТ файлов может быть достигнута при помощи прототипирования. Мы ввели новую сущность 'prototype', которая будет хранить общие атрибуты. Она будет содержать список (идентичный актору) атрибутов, которые могут быть унаследованы актором. (Рисунок 3.2)

```
define prototype named 'test-prototype' at '/foo/bar/address'  
  from 'periphery/Relay.h' as 'electricity::Relay'  
  
define actor named 'test' by 'test-prototype'
```

**Рисунок 3.2.**

Другим способом достижения модульности конфигурации является наследование самих РАСТ файлов. Оно позволяет достичь более высокого уровня абстракции. Повторяющиеся части конфигурации могут быть выделены в отдельный файл, позволяя другим РАСТ файлам использовать их повторно. На рисунках 3.3 и 3.4 приводится пример наследования конфигурации.

```
name 'test-parent-file'  
group 'test-group'  
version '1.0.0'  
  
define prototype named 'test-prototype' at '/foo/bar/address'  
  from 'periphery/Relay.h' as 'electricity::Relay'
```

**Рисунок 3.3.**

```
name 'test-child-file'  
group 'test-group'  
parent 'test-parent-file'  
  
define actor named 'test-1' by 'test-prototype'  
define actor named 'test-2' by 'test-prototype'
```

**Рисунок 3.4.**

### 3.2. Инструменты

Для имплементации нашего DSL необходимо выбрать инструменты для разбора и интерпретации. Существует множество языков, фреймворков и инструментов, которые имеют необходимый функционал: ANTLR, XText, JetBrains MPS, Groovy, parboiled (библиотека для Java/Scala) и др. Мы выбрали Groovy – Java-совместимый объектно-ориентированный язык выполняемый на платформе Java. Он поддерживает лямбды, многострочные литералы и встроенные выражения. Кроме того, Groovy поддерживает цепные вызовы методов с возможностью пропуска точек и скобок (Рисунок 3.5):

```
define (actor) .named('test') .at('/foo/bar/address')  
    .from('periphery/Relay.h') .as('electricity::Relay')
```

**Рисунок 3.5.**

Как мы видим, цепные вызовы методов в Groovy очень близки к естественному английскому языку. Человек, знакомый с предметной областью, может с лёгкостью читать и писать такой код. Однако есть несколько важных моментов, о которых следует помнить. Цепные вызовы должны соблюдать строгую очерёдность. Другой проблемой являются зарезервированные ключевые слова языка Groovy, которые не могут использоваться для в названиях методов. Это может привести к игре слов и сделать код менее естественным и затруднительным для чтения. Несмотря на вышеописанные проблемы язык Groovy является одним из лучших инструментов для разработки DSL. Мы используем его в качестве базы для языка PACT.

### 3.3. Генерация кода

Генерация кода является одной из сложнейших частей PACT DSL. Генератор должен учитывать целевую платформу и иметь достаточное представление об её архитектуре. В то же самое время модель должна быть независима от генератора. Самым простым решением является имплементация собственного генератора для каждой платформы. Все генераторы должны иметь общий интерфейс. Таким образом, мы можем выбрать необходимый нам генератор в самом интерпретаторе. Целевая платформа может быть передана через аргументы командной строки или явно через параметр в PACT файле (Рисунок 3.6).

```
name 'test-ATMega-config'  
version '1.0'  
target 'ATMega8'
```

**Рисунок 3.6.**

```
name 'parent-config'  
group 'meteo-sensors'  
version '1.0'  
// ... some actor definitions
```

**Рисунок 3.7.**

Однако явное указание целевой платформы конфликтует с идеей независимости РАСТ файлов. Так каждая платформа должна иметь собственную конфигурацию. Разрешением является наследование конфигурации, описанное в предыдущем разделе. Так каждая платформа может наследовать общий функционал (Рисунок 3.7) и расширять/переопределять некоторые специфические части (Рисунки 3.8, 3.9).

```
name 'test-ATMega-config'    name 'test-ArduinoUno-config'
parent 'parent-config'      parent 'parent-config'
target 'ATMega8'           target 'ArduinoUno'
```

**Рисунок 3.8.****Рисунок 3.9.**

## ВЫВОД

В этой статье рассмотрены подходы и технологии, позволяющие генерировать реактивный встроенный код, основанный на базовой модели. Используя собственный DSL можно разделить архитектуру и логику от самих встроенных платформ, таких как ARM, AVR, PIC, Arduino и других. Естественно, что предметно-ориентированные языки неидеальны и имеют свои проблемы. Однако позитивный эффект значительно преобладает над незначительными неудобствами.

Индустрия встроенного ПО растёт большими темпами и нуждается в качественных изменениях. Разработка программного обеспечения для каждой платформы по-отдельности является устаревшей моделью. Переход к новым подходам неизбежен. Он сыграет важную роль в революции на рынке встроенного программного обеспечения.

## Список литературы:

1. Cook J.A., Freudenberg J.S. Embedded Software Architecture. EECS. 2008.
2. Global Embedded Software Market Research Report-Forecast 2022. Available at: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/embedded-software-market-2103> (accessed 17 May 2018).
3. Gul Agha. Actors: A Model of Concurrent Computation in Distributed Systems. Doctoral Dissertation. MIT Press. 1986.
4. Hewitt C. Viewing Control Structures as Patterns of Passing Messages. Journal of Artificial Intelligence. 1977. V. 8. No. 3. P. 323-364.
5. Kale V. Integration Technologies. Guide to Cloud Computing for Business and Technology Managers: From Distributed Computing to Cloudware Applications. CRC Press. 2014. ISBN 9781482219227.
6. Megginson D. Imperfect XML: Rants, Raves, Tips, and Tricks ... from an Insider. Addison-Wesley Professional. 2004. ISBN 0131453491. 256 p.

7. Mernik M., Heering J., Sloane A.M. When and how to develop domain-specific languages. ACM Computing Surveys (CSUR). 2005. No. 37 (4). P. 316-344.
8. Raghav G., Gopalswamy S., Radhakrishnan K., Delange J., Hugues J. Architecture Driven Generation of Distributed Embedded Software from Functional Models. Ground Vehicle Systems Engineering and Technology Symposium (GVSETS). 2009.
9. Samtani G., Sadhwani D. Integration Brokers and Web Services. Web Services Business Strategies and Architectures. Apress. 2013. ISBN 9781430253563.
10. Silberschatz A., Galvin P.B., Gagne G. Operating System Concepts (9 ed.). Wiley Publishing. 2012. ISBN 0470128720.
11. Spinellis D. Notable design patterns for domain specific languages. Journal of Systems and Software. 2001. P. ?
12. Stralin T., Ghanasambandam C., Anden P., Comella-Dorda S., Burkacky O. Software development handbook. Transforming for the digital age. Software Development. 2016. McKinsey & Company, Inc. P. ?
13. Tyree J., Akerman A. Architecture Decisions: Demystifying Architecture. IEEE Software, IEEE Computer Society Press Los Alamitos. 2005. V. 22. P. 19-27. ISSN: 0740-7459.

## 1.2. МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

### ОБЗОР КОНСТРУКЦИИ МОСТОВОЙ КРАН-БАЛКИ, ВИДЫ И ЕЕ НАЗНАЧЕНИЕ

*Айменова Гулжан Елеусызовна*

*магистрант,  
Карагандинский государственный технический университет,  
Республика Казахстан, г. Караганда*

### OVERVIEW OF THE CONSTRUCTION OF THE BRIDGE CRANE-BEAM, TYPES AND ITS PURPOSE

*Gulzhan Aimenova*

*Master, Karaganda State Technical University,  
Kazakhstan, Karaganda*

**Аннотация.** В статье приведены основные сведения об общих понятиях мостовой кран-балки.

**Abstract.** The article provides basic information about the general concepts of a bridge crane.

**Ключевые слова:** мостовой кран; производительность; скорость подъема груза; крановая эстакада.

**Keywords:** overhead crane; performance; load lifting speed; crane overpass.

Кран-балка – специальное оборудование, используемое на производстве и в цехах для погрузки и разгрузки грузов, а так же для их транспортировки. Выпускаются грузоподъемностью от 1 т до 12,5 т и пролетом до 28,5 м.

Представляет собой главную балку, по которой происходит движение в горизонтальном направлении, и концевую балку. Концевых балок, как правило, две и расположены они в обоих концах главной балки. Кран-балки достаточно универсальны и малогабаритны, поэтому их применяют в местах труднодоступных и там, где использование других типов кранов представляется весьма затруднительным.

Кран–балки бывают опорными и подвесными. Опорная балка представляет собой несущую балку и ряд вспомогательных механизмов: (предметы для поднятия грузов, ограничители для грузов и другие). Такие кран-балки способны двигаться при помощи привода (как электрического, так и ручного). Управляется такая балка, как из кабины, так и при помощи пульта. Применяется в цехах, для работы с малогабаритными грузами.

Подвесная кран-балка – это мостовой кран с наличием колес и подкрановых рельс. Подобная конструкция включает в себя балку, механизм для поднятия грузов, пульт управления, ходовую тележку и различные вспомогательные устройства. Управление происходит при помощи кнопок. В отличие от опорных кран-балок, подвесные кран-балки используются для поднятия очень тяжелых грузов, используются в металлургической промышленности. Опорные краны намного тяжелее, чем подвесные такой же грузоподъемностью.

Основными свойствами крана является поднятие груза, его захват и транспортировка в необходимое место, чтобы затем пустым вернуться в исходное положение. Также хорошими характеристиками являются скорость перемещения крана, его грузоподъемность, ход работы и высота на которую кран способен поднять груз.

Пролет – это то место, где работает кран. В зависимости от того, на какую длину может передвигаться кран различают однопролетные и двухпролетные краны [1, с. 5].

У однопролетных диапазон передвижения составляет до 15 метров, а у двухпролетных кранов — 30 метров. Кран-балки работают от электричества, передаваемого по кабелю. Высота, на которую могут поднять груз, составляет до 36 метров.

Хочется отметить, что существуют ручные кран-балки. Они тоже бывают опорные и подвесные. В ручных опорных кран-балках используется ручной механизм подъема, то есть цепь. Ручные опорные кран-балки передвигаются вдоль цеха. В ручных подвесных кран-балках также используется цепной механизм движения и таль для поднятия грузов.

Концевая балка так же является неотъемлемой частью крана. Она предназначена для механизма передвижения крана, они обеспечивают движение крана по подкрановым путям. В конструкцию концевых балок входят балки, колесные блоки и редуктор.

Концевые балки тоже бывают опорные и подвесные. Соединение с главной балкой может быть жесткое и подвижное. Концевые балки изготовлены из стали, за счет этого у них достаточно хорошая износостойкость. Нагрузка на крановой путь невысока за счет соединения концевой балки с несущей. Это обеспечивает прочность крана.

Главную балку мостового крана конструируют достаточно длительный период. Сначала все детали выкладывают на стенды и каждую деталь, даже самую маленькую зачищают. С них удаляют пыль, ржавчину, грязь, различные стружки и так далее. Их зачищают на специальных шлифовальных машинах до блеска. Затем все детали состыковывают на стеллажах, проверяют правильность состыковки и немножко прихватывают сваркой [2, с. 248].

Потом перед основной сваркой все проверяют, все стыки, все ли параллельно установлено, и только тогда приступают к окончательной сварке деталей. Необходимо строго соблюдать правила сварки, сварка не должна быть мокрой. Когда все сварочные работы закончатся, то все швы зачищаются зубилом и стальной щеткой.

Главные балки имеют вид прямоугольника, который состоит из мелких коробочек. Это конструкция помогает главной балке иметь прочную, устойчивую конструкцию, препятствует вертикальному и горизонтальному изгибу балки. Одна балка, которая расположена внутри моста, называется основной, а другая балка, расположенная снаружи называется вспомогательной. Вспомогательную балку делают с мелкими отверстиями. Это помогает массу моста сделать меньше. Горизонтальные пластины главной балки называются верхними и нижними поясами.

Крановая эстакада – это глобальное инженерное сооружение, состоящее из опор и пролетного горизонтального строения, являющегося несущей конструкцией для мостового крана. Крановая эстакада может устанавливаться в производственном помещении или под открытым небом.

Крановая эстакада встроенного типа используется в производственных помещениях или цехах и устанавливается на опоры. В качестве опор могут быть использованы колонны цеха, на которых и устанавливаются подкрановые балки. Также крановая эстакада может иметь самостоятельную конструкцию. В этом случае в качестве опор используют колонны или фермы из металлоконструкций с фланцевым основанием.

На площадках открытого типа, под открытым небом, устанавливается открытая крановая эстакада. Колонны эстакады при этом устанавливаются на собственном фундаменте [3, с. 201].

В соответствии с Правилами для удобного и безопасного обслуживания кранов, их механизмов и электрического оборудования, расположенных вне кабины, в конструкции мостовых кранов предусматривается устройство соответствующих галерей, площадок и лестниц.

Грузовая тележка мостового крана или просто крановая тележка предназначена для перемещения и подъема груза вдоль пролета (пролетной балки мостового крана). Конструкция тележки представляет собой раму, сваренную из поперечных и продольных балок, которая

опирается на ходовые колеса и имеет очень жесткую конструкцию. На раме тележки располагается подъемный механизм (вспомогательного и основного подъемов), механизм для передвижения самой тележки вдоль моста крана, токоприемник, а также устройства безопасности. На однобалочных мостовых кранах устанавливают таль или тельфер, двухбалочный кран оснащают грузовой тележкой [4, с. 23].

### **Список литературы:**

1. Методы и средства измерений при строительстве и эксплуатации подкрановых путей: Монография. — 2-е перераб. и доп. / Е. В. Горохов, Н. Е. Ламбин, В. Н. Ламбин. Донбасс.нац. академ. строит. и арх. — Макеевка: 2008.
2. Балашов В.П. Грузоподъемные и транспортирующие машины на заводах строительных материалов: Учебник для техникумов. — М.: Машиностроение, 1997. — С. 148-165. — 384 с.
3. Абрамович И.И. Грузоподъемные краны промышленных предприятий: Справочник / И.И. Абрамович, В.Н. Березин, А.Г. Яуре. — М.: Машиностроение, 1999. — 360 с.
4. Галдин Н.С. Особенности проектирования основных механизмов мостовых кранов / Н.С. Галдин, С.В. Ерёмкина, О.В. Курбацкая // Вестник СибАДИ. — Омск: СибАДИ, 2012. — № 5 (27). — С. 21-25.

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Садгова Наиля Сахлиялы*

*доцент,*

*Азербайджанский Государственный Университет*

*Нефти и Промышленности,*

*Азербайджан, г. Баку*

## **PREDICTION OF ELECTRICAL AND STRENGTH PROPERTIES OF POLYMER MATERIALS**

*Nailya Sadigova*

*assistant professor ASUNI,*

*Azerbaijan, Baku*

**Аннотация.** В статье рассматриваются физико-механические и электрические свойства деталей из полимерных материалов, зависящих от состава. Получена качественная характеристика этих свойств, изучена возможность улучшения этих свойств. На основе полученных данных была исследована физическая модель этого процесса.

Результаты проведённых теоретических исследований позволяют создать технологическую структуру, удовлетворяющую исследованным условиям.

**Abstract.** In the article it is discusses the physic-mechanical and electrical properties of parts made of polymeric materials, dependent on the composition. The qualitative characteristic of these properties was obtained, the possibility of improvement these properties was studied. On the basis obtained of the data, the physical model of this process was investigated.

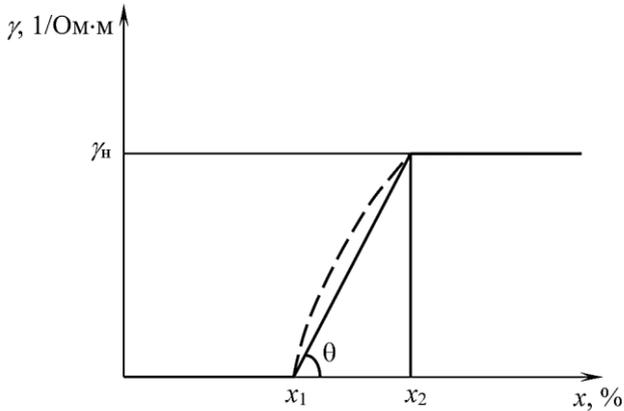
The results of theoretical studies allow us to create a technological structure, that satisfies studied the conditions.

**Ключевые слова:** полимер; деталь; электрические свойства; физическая модель; структур; электропроводность.

**Keywords:** polymer; part; electrical properties; physical model; structure; electrical conductivity.

Физико-механические и электрические свойства деталей из полимерных материалов, в основном, зависят от входящего в композицию состава. В то же время известно, что при изготовлении пластмассовых деталей обеспечение прочностных и других свойств во многом зависит от формы управления технологией. В частности электрические свойства полимерных материалов (например, удельная электропроводность материала,  $\gamma$  1/Oh.m) зависят от длины запаздывания наполнения  $x_1$ , а также величины угла  $\theta$  (рис. 1), изменение которых в определенной степени влияет на повышение как электрических, так и изменение механических свойств полимерных материалов.

Целью настоящего исследования является получение качественной характеристики данной закономерности, т. е. зная которую можно оптимизировать исследуемый процесс.



**Рисунок 1. График зависимости величин**

Физическое моделирование рассматриваемого процесса осуществляется следующим образом: материалу задаётся возмущение (вводится композиция), из-за проницаемости возмущение мгновенно не воспринимается до тех пор, пока не восстанавливается связь между частицами, входящими в материал. Как только восстанавливается связь, величина удельной электропроводности материала мгновенно уменьшается. Следовательно, величины  $\theta$  и  $x_1$  (см. рис. 1) являются диагностирующими параметрами, управление которыми позволяет обеспечить электрические и механические характеристики полимерных материалов.

Следуя вышеуказанной постановке задачи, исследуемый процесс можно свести к рассмотрению решения дифференциального уравнения вида:

$$\frac{d^2\gamma}{dx^2} + a_o^2 \cdot \gamma - b_o \delta(x - x_1) \quad (1)$$

где:  $\gamma$  – удельная объёмная электропроводность, ом·м;

$a_o$  и  $b_o$  – постоянные коэффициенты, определяющие физико-механические свойства рассматриваемого материала;

$\delta(x - x_1)$  – функция Дирака, которая обладает следующим свойством:

$$\delta(x - x_1) = \begin{cases} 1 & x = x_1 \\ 0 & x \neq x_1 \end{cases}$$

Применяя преобразование Лапласа к уравнению (1), получим:

$$(P^2 + a_o^2)\gamma(P) + P\gamma_n \ell^{-Px_2} = b_o \ell^{-Px_1} \quad (2)$$

где  $p$  – элемент оператора Лапласа;  $\gamma_n$  – номинальная величина удельной, объёмной электропроводности.

Согласно (2) имеет:

$$\gamma(P) = \frac{b_o}{P^2 + a_o^2} \ell^{-Px_1} - \frac{P}{P^2 + a_o^2} \gamma \ell^{-Px_2} \quad (3)$$

Отсюда окончательное решение будет:

$$\gamma(x) = (\gamma_n \cos a_o x) \delta(x - x_1) + \frac{b_o}{a_o} \sin a_o x_1 \sigma(x - x_1) \quad (4)$$

где:  $\delta(x - x_1)$  – единичная функция.

Согласно (4) промежуточные решения представляются в виде:

$$P(x) = \begin{cases} 0 & x < x_1 \\ \frac{b_o}{a_o} \sin a_o (x - x_1), & x_1 < x < x_2 \\ \frac{b_o}{a_o} \sin a_o (x - x_1) = \gamma \cos a_o (x - x_1), & x > x_2 \end{cases} \quad (5)$$

здесь  $b_o = \gamma$

Обозначив  $(x - x_1) \Delta x$ , (где  $\ell$  – длина участка), вычислим величину  $\Delta x$ , при которой площадь, ограниченная между  $\gamma(x)$  и  $x$  максимально была бы близка к величине

$$S_o = \gamma_n (x_2 - x_1) \frac{1}{2}$$

Следовательно, имеем:

$$\gamma_n \int_{x_1}^{x_2} \sin a_o (x - x_1) dx = \frac{\gamma_n}{2} (x_2 - x_1)$$

Отсюда

$$x_2 - x_1 = \Delta x = 2/3 \ell \quad (6)$$

или же

$$x_1 = x_2 - \frac{2}{3} \ell$$

По формуле (6), зная длину участка, можно определить  $x_1$ , имея которую можно обеспечить необходимую электропроводность и механическую прочность полимерных материалов. Согласно выше-установленному, величина  $\theta$  определяется из следующего соотношения, т. е.

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\gamma_n}{x_2 - x_1} \quad (7)$$

Таким образом, результаты проведённых теоретических исследований позволяют определить, в технологическом аспекте, очень важные параметры  $x_1$  и  $\theta$ , управление которыми позволяет создать технологическую структуру, при которой удовлетворяются условия (6) и (7).

Результаты экспериментальных исследований подтвердили обоснованность полученной математической модели. Отмечена, также, сходимость модели с данными опубликованных работ.

### Список литературы:

1. Шембель Н.Л. Разработка антифракционного литьевого, наполненного материала, на основе вторичного капрона, и технология его переработки. Канд. дис. МИТХТ им. М.В. Ломоносова, 1965.
2. Сагалаев Г.В. Модель наполненной системы, свойства модельной системы. В сб.: «Наполнители полимерных материалов» МДНТП им. Ф.Э. Дзержинского, Москва, 1969, 29 с.
3. Гуль В.В., Шенфиль Л.З. Электропроводящие, полимерные композиции. Москва: Химия, 1984, 121 с.

### 1.3. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Гурьяшкина Татьяна Александровна*

*студент,  
Ульяновский государственный технический университет,  
РФ, г. Ульяновск*

*Каюмова Юлия Маратовна*

*студент,  
Ульяновский государственный технический университет,  
РФ, г. Ульяновск*

Развитый рынок утилизации вторичного сырья и спрос на него способствуют увеличению сырьевой базы страны, снижению сырьевых и материальных потерь, улучшению экологической ситуации.

К вторичному сырью могут быть отнесены отходы потребления или производства народного хозяйства. Но не все отходы пригодны для вторичного использования и не всякое вторсырье – это использованный продукт.

В данной статье рассмотрено применение некоторых видов вторичного сырья.

##### ***Макулатура***

Макулатура представлена использованной картонно-бумажной продукцией, пригодной для дальнейшего использования в качестве волокнистого сырья. Переработка отходов этого вида позволяет экономить энергетические ресурсы и воду, в отличие от переработки первичного сырья (расход энергии ниже в два раза, а воды – в сто раз) [3].

Макулатура используется в качестве вторичного сырья при производстве бумаги, упаковочных, кровельных, изоляционных и других строительных материалов. Рассмотрим некоторые из них подробнее:

- *Эковата*. Представляет собой рыхлый легкий изоляционный материал, состоящий на 80 % из вторичной целлюлозы, на 20 % из добавок нелетучих антипиренов и антисептиков. Внешне представляет

собой серую рассыпчатую массу. Наиболее оптимальное применение данного теплоизоляционного материала в помещениях с повышенным уровнем влажности, где достаточно часто может возникнуть конденсат [7].

- *Плиты из бумажного волокна.* Выполняются из спрессованной и тщательно просушенной макулатурной массы. Применяются при проведении внутренней отделки жилых, производственных и складских помещений (для облицовки стен, потолков взамен ДВП), а также для изготовления тары, подкладки под линолеум, задней стенки мебели.

- *Полимерно-бумажная плитка.* Производится путем переработки и последующего смешивания отходов влагопрочной бумаги или картона (ламинированной и парафинированной бумаги) и отходов термопластичных полимеров (полиэтилен, полистирол, полипропилен и др.)

- *Кровельный картон* – полотнища, изготовленные из мелких переплетенных растительных и животных волокон (тряпья, хлопковых отходов, макулатуры, целлюлозы, химической древесной массы) [2]. Этот материал применяется в строительстве в роли прокладочного элемента между основной кровлей и обрешеткой, служит основанием для производства некоторых мягких кровельных, гидроизоляционных материалов (пергамент, рубероид и др.). Ярким представителем является пергамин – кровельный картон, пропитанный нефтепродуктами, который применяется как пароизоляция, в том числе и в устройстве полов.

- *Упаковочные материалы* – самая распространенная продукция, получаемая в процессе переработки макулатуры. В сочетании с беленой или небеленой целлюлозой и древесной массой производят тарный картон.

### ***Полимерные материалы***

Вторичная эксплуатация полимерных материалов затруднена двумя факторами: загрязнение и несоответствие свойств вторичного полимера исходному сырью [5]. Отходы общественного потребления полимеров включают тару пищевых продуктов, полиэтиленовые упаковки и пленки, корпуса различных видов техники и другие изношенные полимерные и пластиковые изделия домашнего обихода. Изготовление из отходов полимерной тары тех же изделий невыгодно, поскольку получение материала нужной чистоты обходится дороже исходного. Следовательно, этот вид вторичного сырья эффективнее применять в областях, не предъявляющих высокие требования к очистке материала: производство бетонных изделий, древесно-полимерных плит и т. д.

В строительстве чаще всего используется продукция из вторичных материалов на основе ПЭТФ-полимеров. ПЭТФ (полиэтилен-терефталат) – термопластик, обладающий высокой прочностью,

хорошей пластичностью (и в нагретом, и в холодном состояниях) и химической стойкостью. Данный материал поддается обработке сверлением, пилением, фрезерованием. Все свои характеристики ПЭТФ материал сохраняет и при низких температурах (до  $-40^{\circ}\text{C}$ ), и при высоких (до  $+75^{\circ}\text{C}$ ) температурах.

При изготовлении строительных материалов из полимеров, как правило, применяют пассивные наполнители, стабилизирующие вещества и армирующие волокна. Компоненты смешивают, нагревают и спрессовывают при высокой температуре и давлении. В итоге получают материал высокой прочности (на уровне мягкой стали или меди) с повышенным сопротивлением истиранию, низкой гигроскопичностью, тепло- и электропроводностью.

Примерами изделий из вторичного полимерного сырья являются:

- черепица (связующее – ПЭТФ, наполнители – зола, кварцевый песок и неорганические красители);
- тротуарная плитка (связующее – ПЭТФ, наполнители – стеклянный бой, гранитный гравий, песок или древесные опилки, неорганические красители);
- стеновые панели (связующее – ПЭТФ, наполнители – древесные опилки, отходы текстильной промышленности, неорганические красители);
- кирпичи (связующее – ПЭТФ, наполнители – песок, древесные опилки, неорганические красители).

### ***Металлические отходы***

К бытовым отходам металла относят различные металлические изделия и детали бытовой техники, мебели, а также консервные банки, банки для напитков, изготовленные из жести, алюминия и других металлов. Отходы цветных и черных металлов путем прессования и пакетирования становятся пригодными к отправке на литейные производства.

Лом и отходы черных металлов применяют в конструкциях мостов и небоскребов, в жилищном строительстве, в проведении масштабных трубопроводов и автомобильной промышленности [6]. Однако черные металлы (за исключением кованного железа и нержавеющей стали) подвергаются коррозии, что требует проведение соответствующих мероприятий.

Цветные металлы устойчивы к коррозии и имеют относительно небольшой вес. Применяются в производстве водопроводов, кровельных материалов, желобов.

### ***Стекланные отходы***

Стекланные отходы используются для производства изделий, в которых не имеет большого значения чистота стекла. Стеклобой различных видов стекла (оконного, тарного, оптического и др.) имеет широкий диапазон химического состава и содержит примеси [1]. Необходима его первоначальная сортировка.

В настоящее время стеклобой применяется в качестве заполнителя с использованием традиционных вяжущих (цемента, извести, гипса). В результате получают бетоны различного назначения; строительные растворы для наружных и внутренних работ, тепло- и звукоизоляции, отделки, благоустройства территорий; химически стойкие бетоны.

При затворении водой стеклобой не проявляет вяжущих свойств, поэтому для начала реакции гидратации необходимо добавление щелочного металла. В результате образуются кремниевые кислоты, превращающиеся в гель при достижении определенного уровня кислотности среды. Этот гель омоноличивает крупный и мелкий заполнитель, образуя плотный, прочный и долговечный силикатный конгломерат – стеклобетон.

Такой материал по своим функциональным свойствам не уступает традиционным вяжущим, а по ряду показателей (биостойкость, теплопроводность, кислотостойкость) даже превосходит их.

### ***Резиновые отходы***

Основными видами резиновых отходов общественного потребления являются резиновая обувь, автомобильные шины, резинотехнические изделия.

Рассматриваемый вид вторичного сырья перерабатывается в крошку на специализированных заводах, которая затем становится компонентом резиновых смесей. Последние применяются при производстве рулонных и плиточных материалов, используемых в качестве теплоизоляционных, вибро- и шумопоглощающих, декоративных и напольных покрытий.

Кровельные материалы на основе резиновой муки после введения специальных добавок отличаются высокими эксплуатационными свойствами. Они относительно дешевы, не подвергаются обрастанию грибками и мхом, не шумят при действии дождя и ветровых нагрузок, технологичны в работе и имеют малую плотность, что позволяет снизить нагрузку на конструкцию покрытия [4].

Отработанная резина, путем перевода в растворимое состояние, применяется в качестве вяжущего при производстве гидроизоляционных строительных материалов, материалов для полов, клеев, мастик и герметиков, дорожных смесей.

Таким образом, все большую актуальность приобретают проблемы охраны окружающей среды и эффективного использования минерального сырья. Переход на безотходную технологию позволит сгладить противоречия между экономическим ростом (необходимостью все большего вовлечения ресурсов в производство) и «производительной возможностью» окружающей среды.

### **Список литературы:**

1. Битое стекло вместо бетона. URL: <http://www.solidwaste.ru/publ/view/51.html> (Дата обращения: 02.10.2018).
2. Кровельный картон. URL: <http://domremstroy.ru/bitum/bit17.html> (Дата обращения: 02.10.2018).
3. Макулатура – вторичное сырье. URL: <http://www.mirny.ru/press/articles/4040-makulatura-vtorichnoe-syre.html> (Дата обращения: 02.10.2018).
4. Материалы из резиновых и каучуковых отходов. URL: <http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-110-stroitelnye-materialy/38.htm> (Дата обращения: 02.10.2018).
5. Переработка вторичного сырья и отходов. URL: <http://www.yaprofi.net/pererabotka-vtorichnogo-syrya-i-othodov/> (Дата обращения: 02.10.2018).
6. Переработка лома черных и цветных металлов. URL: <http://vtorothodi.ru/pererabotka/pererabotka-loma-chernyh-i-cvetnyh-metallov> (Дата обращения: 02.10.2018).
7. Эковата – недостатки и достоинства утеплителя. URL: <https://srbu.ru/stroitelnye-materialy/8-ekovata-nedostatki.html> (Дата обращения: 02.10.2018).

## 1.4. ЭНЕРГЕТИКА

### АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ТЕСТИРОВАНИЯ, НАСТРОЙКИ И РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ, РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ

**Каверин Владимир Викторович**

*канд. техн. наук, доцент*

*Карагандинский государственный технический университет,  
Республика Казахстан, г. Караганда*

**Рахымбек Жанболат Ерболұлы**

*магистрант*

*Карагандинский государственный технический университет,  
Республика Казахстан, г. Караганда*

### AUTOMATED COMPLEX TESTING, CONFIGURATION AND DEVELOPMENT OF CONTROL SYSTEMS, RELAY PROTECTION AND EMERGENCY CONTROL AUTOMATION

**Vladimir Kaverin**

*Candidate of Engineering Sciences,*

*associate professor, Karaganda State Technical University,  
Kazakhstan, Karaganda*

**Zhanbolat Rakhymbek**

*graduate student, Karaganda State Technical University,  
Kazakhstan, Karaganda*

**Аннотация.** Современной тенденцией развития средств релейной защиты (РЗ), противоаварийной автоматики (ПА) и систем управления (СУ) является их реализация на микропроцессорной элементной базе. В статье рассматривается способ обеспечения требований к объемам проверки и настройки современных средств РЗ, ПА и СУ с использованием программно-аппаратных комплексов.

**Abstract.** The current trend in the development of relay protection (RP), emergency control automation (PA) and control systems (CS) is their implementation on the microprocessor element base. The article discusses how to meet the requirements for the scope of testing and adjustment of modern means of RH, PA and SU using software and hardware systems.

**Ключевые слова:** релейная защита; противоаварийная автоматика; системы управления; электроэнергетические сети и системы.

**Keywords:** relay protection; emergency control automation; control systems; electric power networks and systems.

### Введение

Современной тенденцией развития средств релейной защиты (РЗ), противоаварийной автоматики (ПА) и систем управления (СУ) является их реализация на микропроцессорной элементной базе.

Гибкость построения, универсальность и коммуникационные возможности микропроцессорных устройств значительно упрощают задачу разработки более сложных распределенных систем РЗ, ПА и СУ, позволяющих повысить надёжность и управляемость электроэнергетических сетей и систем (ЭСС). Однако усложнение топологии современных ЭСС, а также необходимость обеспечения у них активно адаптивных свойств приводит к усложнению задач тестирования и настройки СУ, РЗ и ПА.

Это, главным образом, связано со следующими обстоятельствами:

- современные устройства РЗ, ПА и СУ характеризуются достаточно сложной программно аппаратной реализацией, а также обширным списком функциональных возможностей и поэтому требуют комплексной проверки доступного функционала во всевозможных режимах работы ЭЭС, в том числе и поэлементной проверки на этапе разработки;

- по-прежнему низкие темпы замены устройств на старой элементной базе новыми микропроцессорными и прогнозируемое еще более медленное внедрение распределенных систем с адаптивными свойствами определяют проблему согласования и учёта взаимного влияния устройств нового поколения и эксплуатируемых в ЭСС электромеханических, аналоговых и микроэлектронных устройств.

Для правильной настройки и полнофункционального тестирования сложных СУ, а также систем РЗ и ПА в настоящее время актуально использование устройств, позволяющих обеспечить высокий уровень достоверности воспроизведения режимных параметров в широком спектре процессов в электроэнергетической системе (ЭЭС). Обеспечить

требуемую достоверность воспроизведения режимных параметров возможно путём адекватного моделирования процессов в оборудовании ЭЭС. Применение адекватных и детальных моделей ЭЭС для реализации натурных экспериментов, необходимых для разработки, тестирования и настройки сложных СУ, РЗ и ПА, обеспечит минимизацию их неправильных действий в реальных условиях.

Единственным способом обеспечения требований к объёмам проверки и настройки современных средств РЗ, ПА и СУ является использование программно-аппаратных комплексов. Такие комплексы могут использоваться также для выявления различного рода ошибок, например, в алгоритмах функционирования, на стадии разработки РЗ, ПА и СУ.

Перечисленными возможностями обладают цифровые программно-аппаратные комплексы, такие как RTDS [1, 2], eMEGAsim [3]. Данные комплексы обеспечивают моделирование ЭЭС в реальном времени, с возможностью подключения через внешние усилители реальных устройств РЗ, ПА и СУ. Для тестируемых устройств реализуется обратная связь с комплексом, что позволяет отображать в модели ЭЭС состояние РЗ, ПА и СУ и учитывать их реакцию в процессе моделирования. Кроме того, в RTDS заложены математические модели средств РЗ, ПА и СУ, что даёт возможность анализировать взаимодействие тестируемого устройства с другими средствами автоматики.

Однако основу указанных комплексов составляет численный подход к моделированию ЭЭС. Аналогичный подход применяется в программных комплексах EMTP и Simulink [1, 2, 3], математические модели которых являются основой RTDS и eMEGAsim. При этом недостатком всех численных методов [4] является накапливаемая методическая погрешность расчёта дифференциальных уравнений, которую устранить невозможно. В связи с этим накладываются ограничения на порядок и жёсткость системы дифференциальных уравнений, описывающих процессы в оборудовании ЭЭС. При проверке локальных устройств защиты и автоматики эти недостатки не играют существенной роли, так как время тестирования очень мало, порядка нескольких десятков миллисекунд. Однако, при проверке некоторых средств автоматики и СУ временной диапазон может расширяться до нескольких секунд и даже минут, что приведёт к возрастанию погрешности и её влияния на результат тестирования. Такая же проблема возникнет при проверке и настройке распределённых средств защиты и управления [5], разработка которых в настоящее время становится актуальной задачей.

Получить новые возможности решения вышеуказанных задач позволяет технология гибридного моделирования. Использование данной технологии позволяет исключить методическую погрешность решения дифференциальных уравнений за счёт использования аналогового способа решения, цифровая часть при этом обеспечивает гибкое и точное управление параметрами модели, а также визуализацию результатов, наличие физического уровня делает возможным связь и коммутацию моделируемых элементов аналогично реальным ЭЭС. Таким образом, общая погрешность моделирования, определяется, в основном, качеством аппаратной реализации и является минимальной за счёт использования прецизионных компонентов.

На базе описанной технологии создан Всережимный моделирующий комплекс реального времени ЭЭС (ВМК РВ ЭЭС) [6], представляющий собой многопроцессорную программно-техническую систему, осуществляющую на аппаратном уровне неявное непрерывное интегрирование на неограниченном интервале системы дифференциальных уравнений, описывающих процессы в оборудовании ЭЭС. ВМК РВ позволяет реализовать трёхфазную модель энергосистемы, исключить необходимость декомпозиции процессов и упрощения моделей основного оборудования ЭЭС. Возможность реализации всех видов продольных и поперечных коммутаций позволяет смоделировать любой аномальный режим работы ЭЭС.

### **Программно-аппаратная структура комплекса**

Аппаратная часть комплекса представляет собой модульную структуру, в которой каждый модуль состоит из специализированных гибридных процессоров (СГП), реализующих трёхфазное гибридное моделирование отдельных элементов ЭЭС. Рассчитываемые в СГП модельные величины преобразуются в физические фазные токи и напряжения при помощи преобразователей напряжение-ток, после чего поступают в блоки продольно-поперечных коммутаций, через которые выполняется связь моделируемых элементов ЭЭС друг с другом на физическом уровне посредством специальных кросс-плат. Физические токи и напряжения в узлах кросс плат, поступают на аналоговые выходы комплекса, откуда посредством подключаемых внешних усилителей могут быть поданы на аналоговые входы тестируемых устройств СУ, РЗ и ПА.

Характеристики усилителей:

- параметр значение диапазон изменения переменного тока на выходе 0 – 100 А
- диапазон изменения переменного напряжения на выходе 0 – 300 В

- входное сопротивление, не менее 2 кОм
- рабочий диапазон частот 0 – 800 Гц
- отклонение фазовой характеристики от линейной в диапазоне частот: - от 0 до 100 Гц;  $\leq 0,1^\circ$ , от 100 до 800 Гц;  $\leq 0,5^\circ$
- напряжение питания 220 В  $\pm 15\%$
- диапазон изменения напряжения на входе  $\pm 10$  В

### Выводы

Разработанный комплекс представляет собой универсальный инструмент эффективного решения задач тестирования, настройки и разработки широкого спектра автоматических и автоматизированных систем и устройств защиты и управления ЭЭС любой степени сложности. Заложенные в основу данного комплекса научные и инженерные разработки, прошли масштабную апробацию на реальных объектах энергетики и показали свою эффективность в решении широкого спектра задач, а его уникальные характеристики определяют отсутствие аналогов во всём мире.

### Список литературы:

1. Гусев А.С. Концепция и средства всережимного моделирования в реальном времени электроэнергетических систем. Известия ВУЗов. Проблемы энергетики, 2008, – №№ 9-10/1.
2. Давидзяк Г., Энеглек Х. Концепция свободного моделирования данных согласно стандарту МЭК 61850. Релейщик. 2010. № 3. С. 28-32.
3. Холл Дж., Уатт Дж. Современные численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений: Пер. с англ. / Под ред. А.Д. Горбунова. – М.: Мир, 1979. - 312 с.
4. Нудельман Г.С., Онисова О.А., Наволочный А.А. Подготовка методической базы цифровых моделей реального времени для целей релейной защиты. Электротехника. 2011. №7. С. 40-44.
5. Ouellette D.S.; Geisbrecht W.J.; Wierckx R.P.; Forsyth P.A. Modeling An Impedance Relay Using A Real Time Digital Simulator. Developments in Power System Protection, 2004. Eighth IEE International Conference.
6. Paquin J.-N.; Belanger J.; Snider L.A.; Pirolli, C.; Wei Li. Montecarlo study on a large scale power system model in real time using eMEGAsim. Energy Conversion Congress and Exposition, 2009. ECCE 2009. IEEE
7. Bertsch J.; Carnal C.; Karlson D.; McDaniel J.; Vu K. Wide-Area Protection & Power System Utilization. 2005, Power Technol. Syst., ABB Autom., Baden, Switzerland

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

### РАЗДЕЛ 2.

### МАТЕМАТИКА

#### 2.1. ГЕОМЕТРИЯ И ТОПОЛОГИЯ

#### ГЕОМЕТРИЯ В ИТАЛИИ В ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЕ XX ВЕКА

*Дулина Анастасия Петровна*

*докторант, Римский университет «La Sapienza»,  
Италия, г. Рим*

#### GEOMETRY IN ITALY IN THE FIRST HALF OF THE 20TH CENTURY

*Anastasiia Dulina*

*PhD student, University “La Sapienza”,  
Italy, Rome*

**Аннотация.** Статья посвящена развитию итальянских школ проективно-дифференциальной геометрии Г. Фубини, К. Сегре, А. Террачини. Рассматриваются теория дифференциальных форм и первая теорема жесткости Г. Фубини, вопросы касательных К. Сегре, классификации многообразий с секущим и тангенциальным дефектом А. Террачини, а также их эволюция и влияние на развитие актуальных проблем проективно-дифференциальной геометрии.

**Abstract.** The article is devoted to the development of the Italian schools of the projective differential geometry of G. Fubini, C. Segre, A. Terracini. The theory of differential forms and the first rigidity theorem of G. Fubini,

the questions of C. Segre's tangents, the classification of secant-defective and tangent-defective varieties of A. Terracini, as well as their evolution and influence on the development of actual problems of the projective differential geometry are considered.

**Ключевые слова:** проективно-дифференциальная геометрия; дифференциальные формы; теорема жесткости; линейный проективный элемент; уравнения Лапласа; проективно-дифференциальный инвариант.

**Keywords:** projective differential geometry; differential forms; rigidity theorem; linear projective element; Laplace equations; projective differential invariant.

Одним из выдающихся математиков XX века является итальянский геометр Г. Фубини (G. Fubini, 1879-1943). Первая работа Фубини посвященная проективно-дифференциальной геометрии опубликована в 1914 г., однако его наиболее выдающиеся исследования принадлежат к послевоенному периоду вплоть до 1942 г. Эти исследования были опубликованы в двух трактатах: «Geometria proiettiva differenziale» [3] в 1927 г. и «Introduction à la géométrie projective différentielle des surfaces» [2] в 1931 г., оба написаны в сотрудничестве с Э. Чехом (E. Cech, 1893-1960). Г. Фубини был прежде всего выдающимся специалистом в анализе, что позволило ему преодолеть большие алгоритмические трудности, которые препятствовали открытию «проективно-дифференциальных инвариантов». Фубини предпринял попытку определить поверхность в ординарном пространстве, вплоть до ординарных преобразований в смысле дифференциальных форм. Геометрической интерпретации инвариантов им найденных впоследствии посвятили свои труды разные математики, в частности два выдающихся итальянских геометра А. Террачини и Э. Бомпиани.

В виду этого уместно напомнить, что поверхность в евклидовом трёхмерном пространстве однозначно определена двумя фундаментальными формами, коэффициенты которых проверяют условия совместности, выраженные уравнениями Кодацци-Маинарди и Гаусса. К 1916 г. Фубини разработал метод для достижения своей цели. Начальная точка Фубини – это концепция касательных К. Сегре и Ж. Дарбу. К. Сегре, который был коллегой Фубини в Туринском университете, задал ему вопрос, является ли достаточным распределение этих касательных для того чтобы охарактеризовать поверхность вплоть до проективных преобразований. Фубини ответил отрицательно на этот вопрос в своей первой заметке, опубликованной в «Annali di Matematica» в 1916 г., но, в то же время, он установил основы своей теории дифференциальных форм и создал инструменты для доказательства его знаменитой теоремы о жесткости.

Согласно Г. Фубини неразложимая поверхность  $\Gamma$  в  $\mathbb{P}^3$  параметрически представлена посредством

$$(v_1, v_2) \rightarrow [x(v_1, v_2)] = [x_1(v_1, v_2), \dots, x_4(v_1, v_2)].$$

Фубини определяет две гомогенных дифференциальных формы [3, с. 157]  $F_2(du, dv)$  и  $F_3(du, dv)$ .  $F_2$  квадратичная и обращается в нуль вдоль асимптотических направлений, что является аналогом второй метрической фундаментальной формы.  $F_3$  кубическая и обращается в нуль вдоль касательных направлений Дарбу.  $F_3$  образуется из кубической части локального выражения  $u$  путём наложения на  $F_3$  условия полярности по отношению к  $F_2$ , т. е. гессианом  $F_3$  является  $F_2$ .  $F_2$  и  $F_3$  определяются только до множителя, поэтому только их отношение  $\varphi = \frac{F_3}{F_2}$  хорошо определено: это называется линейным проективным элементом.

**Первая теорема жесткости Фубини:** две поверхности имеют один и тот же линейный проективный элемент тогда и только тогда, когда они проективны. Две поверхности  $\Lambda$  и  $\Lambda_1$  проективно применимы, если существует голоморфное, локально обратимое отображение  $\Lambda \rightarrow \Lambda_1$  такое, что, взяв соответствующие точки  $m$ ,  $m_1$ , любая кривая с изгибом в  $m$  преобразуется в кривую с изгибом в  $m_1$ . Первая теорема о жесткости отвечает отрицательно на результаты К. Сегре относительно того, определяет ли распределение касательных линий Дарбу поверхность вплоть до проективного преобразования. Однако это показывает, что данный вопрос имеет смысл: в самом деле,  $F_3 = 0$  характеризует квадрики и является расширением дифференциального уравнения коники Монжа.

Параллельно со школой Г. Фубини в Италии развивалась другая геометрическая школа, берущая свои истоки от работ К. Сегре (С. Segre, 1863-1924). Сегре является основателем исследований в области проективно-дифференциальной геометрии гиперпространств с геометрической точки зрения. Он использовал аналитическо-синтетический подход для развития этих теорий. Проективно-дифференциальная геометрия родов высшего порядка была культивируема внутри итальянской школы до 1960-х гг. и разработала ряд фундаментальных результатов, принадлежащих, в частности, итальянскому математику Э. Бомпиани (Е. Bompiani, 1889-1975) и его школе.

В своих основополагающих работах К. Сегре строго демонстрирует все свойства: геометрические, используя самые простые аналитические инструменты обусловленные глубокой геометрической интуицией. Работа К. Сегре «Su una classe di superficie degli'iperspazi legata colle equazioni lineari alle derivate parziali di  $2^0$  ordine» [6] опубликованная в 1907 г. является одним из краеугольных камней итальянской школы проективно-дифференциальной геометрии. В этой работе представлены следующие фундаментальные вопросы: поверхность определяет два независимых уравнения Лапласа, если и только если она является разложимой или находится в трёхмерном пространстве; каждая поверхность в  $\mathbb{R}^4$  определяет одно уравнение Лапласа; исследование геометрии богатой поверхностями  $\Phi$ , которые определяют одно уравнение Лапласа в  $\mathbb{R}^5$  в связи с поведением их четырёхмерных тангенциальных многообразий; одна поверхность  $\Phi$  имеет двойную систему сопряжённых линий, если и только если первая определяет одно уравнение Лапласа. Важные обобщения этих результатов на многомерные многообразия и линейные дифференциальные уравнения высшего порядка были проделаны учениками и последователями К. Сегре, такими как А. Террачини, Э. Бомпиани, Б. Сегре (B. Segre, 1903-1977) и др. Несмотря на то, что точка зрения Г. Фубини отличалась от точки зрения К. Сегре, они имели и точки соприкосновения. В работе «Preliminari di una teoria delle varietà luoghi di spazi» [4, с. 110] Сегре изучает многообразия порождённые семейством линейных подпространств. Он связывает тангенциальные свойства этих многообразий с фокальными свойствами генерирующего пространства, широко распространяя концепцию разложимой поверхности. В частности, он основополагает классификацию тангенциально-дефектных многообразий, т. е. многообразий размерности  $n$ , чьё тангенциальное многообразие имеет размерность меньше ожидаемой, которая равна  $2n$ .

Эта область исследований была продолжена А. Террачини и по-прежнему является открытым полем для исследований. В частности, с тех пор широко используются фокальные свойства, которые в последнее время возрождаются разными авторами с целью выхода на интересные геометрические задачи разного типа.

В работе «Su alcuni punti singolari delle curve algebriche, e sulla linea parabolica di una superficie» [5, с. 169-170] К. Сегре представил так называемый контактный инвариант Wolfing–Mehmke–Segre для двух плоских кривых в точке их соприкосновения.

Рассмотрим две кривые  $\gamma$  и  $\gamma_1$  имеющие некую точку касания  $m$ , и их общую касательную  $\Gamma$ . Возьмём общую прямую  $\Lambda$ , проходящую

вблизи  $m$ , которая разрезает  $\gamma$ ,  $\gamma_1$  и  $\Gamma$  в точках  $k$ ,  $l$ ,  $p$ . Зафиксируем общую точку  $r$  на  $\Lambda$ . Предел двойного отношения  $(k, l, p, m)$  когда  $\Lambda$  стремится к прямой через  $m$ , не зависит от произвольного выбора и является инвариантом, о котором идёт речь.

Принимая более общую точку зрения Э. Вильчинского (E. Wilczynski, 1876-1932) К. Сегре изучает все поверхности  $\Phi$  в  $P^r$ , параметрически представленные посредством

$$(u_1, u_2) \rightarrow [x(u_1, u_2)] = [x_0(u_1, u_2), \dots, x_r(u_1, u_2)],$$

и проверяющие дифференциальное уравнение второго порядка или уравнение Лапласа  $Ax_{11} + Bx_{12} + Cx_{22} + Dx_1 + Dx_2 + Fx = 0$ . Это означает, что первое оскулирующее пространство к  $\Phi$  в её общей точке имеет размерность меньшую, чем ожидаемая, и равную 5.

Учитывая поверхность  $S$  в  $P^3$  и гладкую точку  $p$  на ней, Сегре вводит три касательные линии к  $S$  в точке  $p$ , позже называемые «касательными Сегре», которые расширяют понятие асимптотики линий. Сегре сравнивает эту тройку касательных с другой введённой в 1880 г. тройкой Дарбу, так называемые «касательные Дарбу». Сегре доказывает, что касательные Дарбу сопряжены с его касательными относительно пары асимптотических направлений [5, с. 172], исходящих из точки  $p$ , что немало способствовало развитию школы Г. Фубини.

Эта область исследования была продолжена А. Террачини и Э. Бомпиани и до сегодняшнего дня имеет нерешённые проблемы.

Одним из выдающихся представителей итальянской школы проективно-дифференциальной геометрии является А. Террачини (A. Terracini, 1889-1968). Его труды посвящены классификации многообразий с секущим дефектом и с тангенциальным дефектом: с 1979 г. эта проблема актуализируется в работах Ф. Зака (F. Zak). Сочинения А. Террачини также посвящены геометрически-проективным аспектам теории дифференциальных уравнений в частных производных и классификации многообразий, которые являются решениями многих уравнений Лапласа. Он дал геометрическую интерпретацию теории Г. Фубини, в частности, проективной прямой Фубини-Грина на поверхности и проективной метрики Фубини. Террачини рассмотрел расширения на многомерные проективные многообразия понятия «дифференциальной формы Фубини», заменив его удобными линейными системами. Он классифицировал некоторые особые многообразия, в частности многообразие

К. Сегре, отталкиваясь от условий их первой дифференциальной квадратичной формы.

В курсе лекций «Geometria differenziale con particolare riguardo all'indirizzo proiettivo» [7], который А. Террачини читал в 1936-1937 гг. в Туринском университете он представил изучение дифференциальной геометрии в сочетании с разными группами преобразований, в частности, с группой проективных преобразований и, развивая таким образом, дифференциально-проективную геометрию.

### Список литературы:

1. Ciliberto C. An overview on the Italian school of projective differential geometry. Conference at IHS, Paris. – 2008.
2. Fubini G., Chech E. Introduction à la géométrie projective différentielle des surfaces. Paris: Gauthier-Villars & Cie. – 1931. – 290 p.
3. Fubini G., Chech E. Geometria proiettiva differenziale. 2 voll. Bologna: Zanichelli. – 1927. – 398 p.
4. Segre C. Preliminari di una teoria delle varietà luoghi di spazi // Rendiconti del Circolo Matematico di Palermo. – 1910. – Vol. 30. – no. 1. – P. 87-121.
5. Segre C. Su alcuni punti singolari delle curve algebriche, e sulla linea parabolica di una superficie” // Opere, a cura della Unione Matematica Italiana. – 1958. – Vol. II. – no. 6. – P. 168-175.
6. C. Segre. Su una classe di superficie degl'iperspazi, legate con le equazioni lineari alle derivate parziali di  $2^0$  ordine // Atti R. Acc. Scienze Torino. – 1906-1907. – Vol. 42. – P. 1047–1079.
7. Terracini A. Geometria differenziale con particolare riguardo all'indirizzo proiettivo. Quaderni delle lezioni. Torino. – 1936-1937. – 358 p.

## РАЗДЕЛ 3.

### МЕХАНИКА

#### 3.1. ДИНАМИКА, ПРОЧНОСТЬ МАШИН, ПРИБОРОВ И АППАРАТУРЫ

#### ЭКВИВАЛЕНТНАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ КОМПОЗИТНЫХ АРМИРОВАННЫХ ТРУБ

**Опарин Владимир Борисович**

*д-р физ.-мат. наук, доцент,  
Самарский государственный технический университет,  
РФ, г Самара*

**Синюгин Александр Александрович**

*аспирант,  
Самарский государственный технический университет,  
РФ, г Самара*

#### THE TITLE OF SCIENTIFIC PAPER

**Vladimir Oparin**

*Doctor of Science, associate Professor, Samara state University,  
Russia, Samara*

**Aleksandr Sinygin**

*graduate student Samara state University,  
Russia, Samara*

**Аннотация.** Изучение напряженно-деформированного состояния армированных труб. Получена расчетная эквивалентная модель для такого типа труб. Разработанные принципы могут быть использованы на этапах конструирования, проектирования и эксплуатации армированных труб.

**Abstract.** Study of stress-strain State of metal-polymer pipelines. Analytical and experimental method. Received an estimated equivalent design model for reinforced pipes. Principles developed can be used on stages of construction, design and operation of reinforced metal pipes.

**Ключевые слова:** напряженно-деформированное состояние; аналитический и экспериментальный метод, проектирование и эксплуатация армированных труб.

**Keywords:** stress-strain State; analytical and experimental method, design and operation of reinforced pipes.

Острой проблемой нефтегазодобывающей отрасли являются аварии промысловых трубопроводов. В настоящее время на нефтепромыслах страны действует разветвленная система нефтепроводов, продуктопроводов общей протяженностью более 300 тыс. км.

Ежегодно происходит около 50-70 тыс. нарушений герметичности и разрывов труб. При этом количество аварий с каждым годом возрастает в связи с износом металлических трубопроводов и увеличением их протяженности.

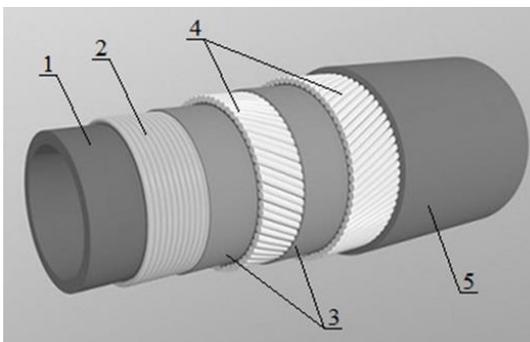
Основной причиной аварий является коррозия металла. Из общего числа аварий до 55 % приходится на долю систем нефтесбора и 30-35 % – на долю линий поддержания пластового давления (ППД). При этом 42 % труб не выдерживают пятилетней эксплуатации, а 17 % – и двух лет.

Альтернативой металлическим трубопроводам являются коррозионно-устойчивые армированные трубопроводы, которые обладают рядом преимуществ перед традиционными стальными трубопроводами. Они имеют высокую коррозионную стойкость; возможностью монтажа секциями до 250 м; наличием разъемных соединений. Это позволяет при монтаже отказаться от проведения сварочных работ. Такие трубы обладают высокой технологичностью монтажа; а также низкой степенью шероховатости поверхности, что уменьшает гидравлическое сопротивление в трубопроводной системе.

Предметом исследования в настоящей работе являются гибкие полимерно-металлические трубы (ГПМТ) со стальным проволочным каркасом.

Ранее расчетные модели для такого типа труб строились на методике расчета шлангокабелей, что не совсем является корректным. Более точные модели практически не поддаются расчетам, поскольку неизвестны многие коэффициенты взаимодействия различных слоев, из которых состоит труба.

В данной работе представлена эквивалентная модель, описывающая многослойную гибкую трубу как двухслойный сплошной тонкостенный цилиндр с ортотропными механическими свойствами каждого из слоев. Сформулирован метод заполненного периметра, использованный для расчета механических свойств эквивалентной двухслойной модели, а также дан сравнительный анализ результатов расчета модели и традиционных расчетных методик.



**Рисунок 1. Гибкая армированная труба**

*Примечание: 1 – внутренняя камера из полиэтилена низкого давления (ПНД); 2 – стальной проволочный каркас; 3 – гидроизолирующие из клейкой поливинилхлоридной ленты (ПВХ); 4 – грузонесущие повивы из полипропиленового штагата (ПП); 5 – внешний слой из экструдированного полиэтилена высокого давления (ПВД).*

В ходе исследования гибких труб выдвинуто предположение о возможности замены многослойной конструкции гибкой трубы эквивалентной двухслойной моделью с такими механическими свойствами, чтобы внутренний слой воспринимал радиальные нагрузки, а внешний – осевые, причем передача осевой составляющей внутреннего давления происходила от внутреннего слоя к внешнему.

Минимально допустимый радиус изгиба ГПМТ составляет 0,6; 0,75 и 1,1 метра в зависимости от условного диаметра. В местах изгиба будет наблюдаться увеличение шага спирали по внешней образующей дуги трубы и, как следствие, местное уменьшение прочности конструкции. В этом случае требуется определить значения безразмерных коэффициентов  $a$  и  $b$  для внутреннего и внешнего слоя модели. Площадь соприкосновения внутренней трубы с металлическим бандажом при ее изгибе несколько увеличивается, и новое значение коэффициента  $a_1$  (см. ниже) составит 0,71 в отличие от 1 (для недеформированной трубы).

Для определения значения  $E_{\text{радиальное}}$  в программном комплексе ANSYS были построены 6 пар моделей с внутренними диаметрами 69, 85, 96, 105, 116 и 125 мм. Толщина проволоки спирального проволочного бандажа и цилиндрической стенки во всех случаях составила 3 мм, шаг спирали – 3,2 мм. Все модели были нагружены внутренним давлением в 5 МПа.

Результаты моделирования представлены в Таблице.

**Таблица 1.**

**Деформация спиральных и цилиндрических моделей**

D, мм	Радиальная деформация, мм		Коэффициент $a_2$
	Спираль	Цилиндр	
69	0.0100	0.00797	0,80
85	0.0157	0.0123	0,78
96	0.0205	0.0158	0,77
105	0.0251	0.0191	0,76
116	0.0314	0.0234	0,75
125	0.0373	0.0273	0,73

Отношение деформации цилиндров к деформации спиралей будет определяться коэффициентом  $a_2$ , характеризующим величину  $E_{\text{радиальное}}$ :

$$E_{\text{рад}} = a_2 E_{\text{каркас}}$$

Таким образом, для рабочих параметров необходимо соблюдение следующих условий.

1. для внутреннего слоя модели:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{\text{в рад}} = a \sigma_{\text{в каркас}} \\ \sigma_{\text{т рад}} = a \sigma_{\text{т каркас}} \\ E_{\text{рад}} = a E_{\text{каркас}} \\ \sigma_{\text{в ос}} = 0 \\ \sigma_{\text{т ос}} = 0 \\ E_{\text{ос}} = 0 \\ 0 < a < 1 \end{array} \right. \quad (1)$$

где:  $\sigma_{\text{в рад}}$ ,  $\sigma_{\text{т рад}}$ ,  $E_{\text{рад}}$  – пределы прочности, текучести и модуль Юнга внутреннего слоя эквивалентной модели в радиальном направлении;  $\sigma_{\text{в ос}}$ ,  $\sigma_{\text{т ос}}$ ,  $E_{\text{ос}}$  – в осевом;  $\sigma_{\text{в каркаса}}$ ,  $\sigma_{\text{т каркаса}}$ ,  $E_{\text{каркаса}}$  – механические

свойства воспринимающего радиальные нагрузки материала проволоочного каркаса;

2. для внешнего слоя модели:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma'_{\text{в рад}} = 0 \\ \sigma'_{\text{т рад}} = 0 \\ E'_{\text{рад}} = 0 \\ \sigma'_{\text{в ос}} = b \sigma_{\text{в груз}} \\ \sigma'_{\text{т ос}} = b \sigma_{\text{т груз}} \\ E'_{\text{ос}} = b E_{\text{груз}} \\ 0 < b < 1 \end{array} \right. \quad (2)$$

где:  $\sigma'_{\text{в ос}}$ ,  $\sigma'_{\text{т ос}}$ ,  $E'_{\text{ос}}$  – пределы прочности, текучести и модуль Юнга внешнего слоя эквивалентной модели в осевом направлении;  $\sigma'_{\text{в рад}}$ ,  $\sigma'_{\text{т рад}}$ ,  $E'_{\text{рад}}$  – в радиальном;  $\sigma_{\text{в груз}}$ ,  $\sigma_{\text{т груз}}$ ,  $E_{\text{груз}}$  – механические свойства материалов, воспринимающих осевые нагрузки.

Геометрические размеры слоев эквивалентной модели совпадают с размерами основных грузонесущих слоев гибкой трубы. Внутренний слой имеет толщину 3 мм, что соответствует толщине слоя проволоочного каркаса, а внешний – 8 мм, что равно толщине слоя грузонесущих повивов. (см. рис. 1).

В качестве вывода можно заключить, что впервые представлена эквивалентная двухслойная цилиндрическая модель, заменяющая при прочностном расчете многослойную модель композитной армированной трубы. Получены и обоснованы ортотропные значения механических свойств слоев эквивалентной модели. Определено влияние на осевую прочность конструкции всех слоев армированной трубы;

### Список литературы:

1. Синюгин А.А., Папировский В.Л., Опарин В.Б. / Оптимизация моделирования спирального бандажа гибкой полимерно-металлической трубы в ANSYS // Бурение и нефть. 2014. № 7-8. с. 39-41.
2. Синюгин А.А., Опарин В.Б. / Применение эквивалентной модели при оценке прочности гибких труб // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2016. № 6. с. 68-72.
3. Сыпачева Е.С. Математическая модель работоспособности полиэтиленовых армированных труб / Е.С. Сыпачева, А.Ф. Сальников // Молодежная наука Прикамья. – 2004. – № 4.

## РАЗДЕЛ 4.

### ФИЗИКА

#### 4.1. ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ

#### ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЕ ПРОФИЛЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИМЕСИ НА ПАРАМЕТРЫ ВАРАКТОРОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ДАВЛЕНИЯ

*Маматкаримов Одилжон Охундаевич*

*д-р физ.-мат. наук,  
Наманганский инженерно-технологический институт,  
Республика Узбекистан, г. Наманган*

*Турсунов Икромжон Гуламжонович*

*канд. физ.-мат. наук, доцент  
Национальный Университет Узбекистана,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент*

#### STUDYING THE IMPACT OF IMPACT DISTRIBUTION PROFILE ON VARACTOR PARAMETERS UNDER THE IMPACT OF PRESSURE

*Odilzhon Mamatkarimov*

*Dr. Phys.-Mat. sciences,  
Namangan Institute of Engineering and Technology,  
Uzbekistan, Namangan*

*Ikromzhon Tursunov*

*Cand. Phys.-Mat. sciences, associate professor  
National University of Uzbekistan,  
Uzbekistan, Tashkent*

**Аннотация.** Рассмотрена вольт-фарадная зависимость варактора, изготовленного на основе барьера Шоттки, подвергнутого всестороннему гидростатическому сжатию до 6 кБар. Показана сильная зависимость параметров барьера от вида профиля распределения примеси и от величины прикладываемого давления. Установлено, что выдержка варактора в течение 12 минут под давлением в 6 кБар, приводит к увеличению его чувствительности.

**Abstract.** Reviewed by capacitance-voltage dependence of a varactor made on the basis of the barrier Schottky, subjected to full hydrostatic compression up to 6 kBar. Shows strong the dependence of barrier parameters on the type of profile of impurity distribution and the value of the hydrostatic compression. Found that the extract of the varactor for 12 minutes under pressure in 6 kbar increases its sensitivity.

**Ключевые слова:** полупроводник; кремний; легирование; диод; давления.

**Keywords:** semiconductor; silicon; doping; diode; pressure.

**Введение.** При создании варакторов, для более эффективной их работы, необходимо условие неравномерности вольт фарадной характеристики [1-3]. Для получения достаточно большой неравномерности характеристики используется формирование резкого профиля концентрации распределения примеси по полупроводниковой подложке. Такой профиль концентрации примеси получают при помощи ионного легирования или при использовании процессов эпитаксиального выращивания. Однако известно, что барическое воздействие, как на исходную полупроводниковую подложку, так и на сформированный барьер Шоттки, приводит к изменению распределения примеси [4], что может быть использовано при изготовлении варакторов.

**Методика эксперимента.** В настоящей работе рассматривается вольт фарадная зависимость барьера Шоттки в случае, когда концентрация примеси в полупроводниковой подложке изменяется по закону

$$n(x) = n_0 / x^2 + a ,$$

где:  $n_0$  – концентрация примеси в полупроводнике на границе раздела с металлом,

$a$  -const,  $x$  – координата, отсчитываемая от границы раздела металл – полупроводник в глубину полупроводника.

Используя уравнение Пуассона и зависимость плотности объемного заряда от  $x$ , получаем:

$$\frac{d^2\varphi}{dx^2} = -\frac{en_0}{\varepsilon\varepsilon_0} \frac{1}{x^2 + a^2} \quad (1)$$

После интегрирования (1) по координате имеем:

$$\frac{d\varphi}{dx} = -\frac{en_0}{\varepsilon\varepsilon_0} \cdot \frac{\arctan\left[\frac{x}{a}\right]}{a} + c_1 \quad (2)$$

Для нахождения постоянной  $c_1$  в уравнении (2), воспользуемся следующими граничными условиями

$$x = L, \quad \frac{d\varphi}{dx} = 0 \quad \varphi = 0; \quad x = 0, \quad \varphi = \varphi_k, \quad \frac{d\varphi}{dx} = 0$$

где:  $\varphi_k$  – контактная разность потенциалов между металлом и полупроводником.

Используя эти граничные условия, получим значение  $c_1$ :

$$c_1 = \frac{en_0}{\varepsilon\varepsilon_0} \cdot \frac{\arctan\left[\frac{L}{a}\right]}{a} \quad (3)$$

Подставляя выражение (3) в уравнение (2), получим:

$$\frac{d\varphi}{dx} = -\frac{en_0}{\varepsilon\varepsilon_0} \cdot \frac{\arctan\left[\frac{x}{a}\right]}{a} + \frac{en_0}{\varepsilon\varepsilon_0} \cdot \frac{\arctan\left[\frac{L}{a}\right]}{a} \quad (4)$$

После интегрирования выражения (4) по координате, имеем:

$$\varphi(x) = \frac{en_0}{\varepsilon\varepsilon_0} \cdot \frac{x \cdot \arctan\left[\frac{L}{a}\right] - x \cdot \arctan\left[\frac{x}{a}\right]}{a} + \frac{en_0}{\varepsilon\varepsilon_0} \cdot \frac{\ln\left[1 + \frac{x^2}{a^2}\right]}{2} + c_2 \quad (5)$$

После нахождения постоянной  $c_2$

$$c_2 = -\frac{en_0}{\varepsilon\varepsilon_0} \cdot \frac{\ln\left[1 + \frac{L^2}{a^2}\right]}{2} \quad (6)$$

Находим

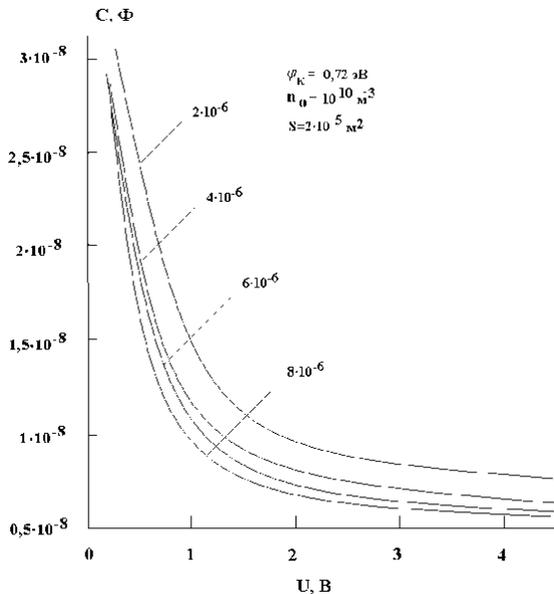
$$\phi(x) = \frac{en_0}{\varepsilon\varepsilon_0} \cdot \frac{\left(x \cdot \arctan\left[\frac{L}{a}\right] - x \cdot \arctan\left[\frac{x}{a}\right]\right)}{a} + \frac{en_0}{\varepsilon\varepsilon_0} \cdot \frac{\ln\left[1 + \frac{x^2}{a^2}\right] - \ln\left[1 + \frac{L^2}{a^2}\right]}{2} \quad (7)$$

и, далее, находим глубину проникновения электрического поля в полупроводник.

$$L = \left[ a \cdot \left[ \exp\left(-\frac{2\varepsilon\varepsilon_0(\varphi_k + U)}{en_0}\right) - 1 \right] \right]^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

Из полученного выражения видно, что зависимость  $L = L(U)$  существенно отличается от таковой, рассчитанной для равномерного распределения примеси [2, 3]. Рассматривая емкость контакт металл – полупроводник в приближении плоского конденсатора, (8) находим зависимость емкости диода Шоттки от величины прикладываемого напряжения, для различных значений параметра  $a$  ( $2 \cdot 10^{-6}$ ,  $4 \cdot 10^{-6}$ ,  $6 \cdot 10^{-6}$ ,  $8 \cdot 10^{-6}$ ).

**Экспериментальная часть** Из зависимостей, приведенных на рисунке 1 видно, что расчетная вольт - фарадная характеристика, построенная для диода Шоттки типа Au-n Si, в зависимости от значения параметра  $a$ , видоизменяется достаточно сильно.



**Рисунок 1. Расчетные C-U зависимости для диода Шоттки для различных значений параметра a**

При создании варакторов, для повышения эффективности их работы, необходимо условие неравномерности вольт - фарадной характеристики [2].

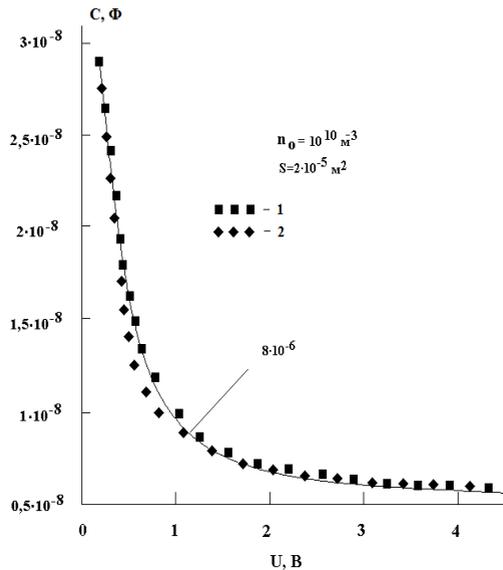
Действительно, одним из характеристических параметров варактора является его чувствительность:

$$S = \frac{dC}{C} \frac{U}{dU} \frac{1}{n+2} \quad (9)$$

Здесь  $n$  - показатель степени в выражении,  $N(x) = N_0 x^n$  описывающем распределение примеси по толщине области объемного заряда полупроводника.

Из соотношения (9) видно: чем больше величина  $S$ , тем больше изменение емкости  $C$  под действием приложенного переменного напряжения  $U$ . На рисунке 2 приведены экспериментальные вольт-фарадные (усредненные по 5 образцам) зависимости диодов, типа Au-n Si, изготовленных на основе полупроводника n – типа проводимости.

Сплошная зависимость соответствует расчетной вольт-фарадной характеристике, приведенной на рисунке 1, для параметра  $a = 8 \cdot 10^{-6}$ .



**Рисунок.2. Экспериментальные  $C$ - $U$  зависимости для диодов Шоттки**

Примечание: 1 - контрольные диоды, 2 - диоды подвергнутые воздействию давления в 6 кБар

**Обсуждение.** Видно, что экспериментальная зависимость (1) хорошо совпадает с расчетной зависимостью, что подтверждает справедливость используемого при расчете закона распределения примеси. Зависимость (2) соответствует структуре подвергнутой воздействию всестороннего сжатия при давлении в 6 кБар с выдержкой 12 минут на установке, описанной в [5].

Видно, что после воздействия давления, вольт-фарадная характеристика (в области прикладываемых напряжений 0,5-1,5 В), смещается в левую сторону, что хорошо согласуется с данными работы [4]. Такое смещение характеристики приводит к увеличению значения  $dC/dU$  в этой области и к повышению чувствительности варактора.

**Закключение.** Следовательно, при изготовлении варакторов целесообразно использовать всестороннее гидростатическое сжатие.

### Список литературы:

1. В.И. Старосельский. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники (Москва, «Высшее образование» 2009).
2. С.И. Власов, Д.А. Толипов. Пассивные твердотельные приборы (Ташкент, «Университет», 2012).
3. Л.С. Берман. Емкостные методы исследования параметров полупроводников (Ленинград, Наука, 1981).
4. S.I. Vlasov, F.A. Saparov, K.A. Ismailov. Effect of pressure on characteristics of Schottky barrier diodes made of overcompensated semiconductor. (Semiconductor Physics, Quantum electronics and Optoelectronics. vol. 13, № 4, p. 363-366, 2010).
5. А.Т. Гайворонский, Ю.И. Яковлев, Б.И. Береснеев, Д.К. Булкчев. Гидростат ЛГ. Приборы и техника эксперимента. Москва. № 5, с. 232, (1981).

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕСНЫХ МИКРОВКЛЮЧЕНИЙ НИКЕЛЯ И КОБАЛЬТА В КРЕМНИИ

*Тургунов Нозимжон Абдуманнопович*

*канд. физ.-мат. наук, доцент*

*Академия Министерства внутренних дел Республики Узбекистан,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент*

## INVESTIGATION OF IMPURITY MICROINCLUSIONS OF NICKEL AND COBALT IN SILICON

*Turgunov Nozimjon*

*Candidate of physical and mathematical sciences, associate professor  
Academy of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Uzbekistan,  
Republic Uzbekistan, Tashkent*

**Аннотация.** Методом электронного зондового микроанализа была исследована последовательность процессов образования примесных микровключений никеля и кобальта в кремнии при диффузионном легировании. Исследования проводились с образцами n-Si <Ni>, n-Si <Co> и p-Si <Co>, полученными диффузионным легированием, с различными скоростями охлаждения после диффузионного отжига. Установлено, что образование многослойных примесных микровключений никеля и кобальта в кремнии начинается с внешних слоев.

**Abstract.** The sequence of processes of formation of impurity microinclusions of nickel and cobalt in silicon under diffusion doping was studied by the method of electron probe microanalysis. The investigations were carried out with samples of n-Si<Ni>, n-Si<Co> and p-Si<Co> obtained by diffusion doping, with different cooling rates after diffusion annealing. It is established that the formation of multilayer impurity microinclusions of nickel and cobalt in silicon begins with the outer layers.

**Ключевые слова:** примесные микровключения; диффузионная пористость; электронный зондовый микроанализ; образование микровключений.

**Keywords:** impurity microinclusions; diffusion porosity; electron probe microanalysis; formation of microinclusions.

**Введение.** В настоящее время существует много методов теоретического обоснования механизмов образования примесей примесей в монокристаллах кремния. Но эти механизмы не всегда удовлетворяют надежности описаний кинетики процессов, конкретно возникающих при допинге или под влиянием внешних воздействий. Достоверные результаты в этой области исследований достигаются при применении этих методов к конкретным примесям, с учетом соответствующих корректировок. По этой причине при описании механизмов образования примесных микровключений необходимо учитывать уникальные характеры и параметры конкретных примесей, а также внешние влияющие факторы.

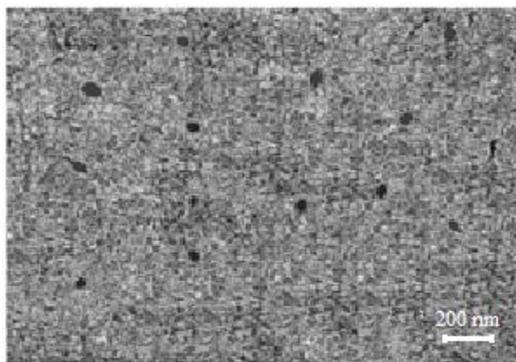
Изучение закономерностей образования примесных дефектов в объеме монокристаллов кремния и особенности их внутренней структуры в течение ряда лет показали, что эти особенности являются результатом различных внешних воздействий на дефектообразующую среду, изменений в его химическом составе и состоянии. В ряде работ [1-4] приводятся данные об отдельных этапах структурных изменений, а также фазовые превращения, возникающие под влиянием внешних воздействий при формировании микроструктуры материала. Однако до настоящего времени механизмы образования примесных микровключений элементов переходной группы металлов конкретно не определены. В связи с этим, нами были проведены исследования по изучению кинетики роста примесных микровключений Ni и Co в монокристаллах кремния.

**Методика эксперимента.** Чтобы выявить последовательность процессов образования примесных микровключений при диффузионном легировании кремния, нами были проведены комплексные исследования

структур образцов с примесными микровключениями. Структурные исследования проводились с помощью электронно-зондового микроанализатора Superprobe JXA-8800R. Образцы n-Si <Ni> были получены на основе исходного материала - монокристаллического кремния с электронной проводимостью, с удельным сопротивлением  $\rho = 10 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ , выращенным методом Чохральского. Образцы Si <Co> n- и p-типа были получены на основе исходного материала – монокристаллического кремния с удельным сопротивлением  $\rho = 20\div 40 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ . Легирование проводили путем диффузии при  $T = 1373\text{-}1523 \text{ К}$ , с последующим охлаждением с разными скоростями.

**Экспериментальная часть.** Согласно [5], одним из механизмов процесса образования пор является диффузионная пористость, возникающая в результате миграции избыточных вакансий или их взаимодействия с другими структурными дефектами. Как известно, в процессе диффузии при высоких температурах из-за выхода атомов из узлов кристаллической решетки концентрация избыточных вакансий увеличивается. С учетом того, что типичное значение энергии образования вакансий в кристаллах составляет около 1 эВ [6], при температурах  $T > 1323 \text{ К}$  в монокристаллах Si концентрация вакансий составляет не менее  $10^{16} \text{ см}^{-3}$ , и такое количество  $S_v$  является вполне достаточной для образования макропор.

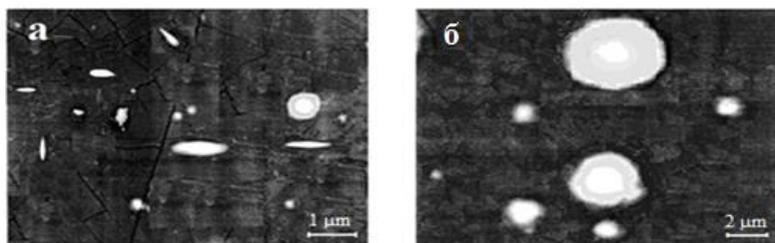
Из полученных результатов микроструктурного анализа в образцах n-Si после термообработки при  $T=1323 \text{ К}$  видно (Рис. 1), что сформированные поры имеют аналогичную форму и их размеры достигают  $\sim 50 \text{ нм}$ .



**Рисунок 1. Микрофотография вакансионных пор, образовавшихся в объеме образцов n-Si после термообработки при  $T=1323 \text{ К}$**

Исследования структуры образцов  $n\text{-Si}\langle\text{Ni}\rangle$  показали, что в зависимости от значения скорости охлаждения –  $v_{\text{охл}}$ , после диффузионного отжига в объеме образцов образуются примесные микровключения, имеющие разные размеры и геометрические формы. В образцах  $n\text{-Si}\langle\text{Ni}\rangle$  с быстрым охлаждением  $v_{\text{охл}}=600$  град/сек после диффузионного отжига образуются микровключения с размерами до  $10^{-6}$  м. Электронно-микроскопический анализ таких включений показывает, что они состоят из нескольких слоев силицидов никеля и имеют иглообразную дискретную, линзовидную и сложную многогранную форму, подходящую для сферы (рис. 2(а)). Плотность таких микровключений в объеме образцов достигал  $\sim 10^5$  см $^{-3}$ . При аналогичном значении  $v_{\text{охл}}$  в образцах  $p\text{-Si}\langle\text{Ni}\rangle$ , образуются микровключения, имеющие различные геометрические формы, с размерами до  $\sim 0,5 \cdot 10^{-6}$  м.

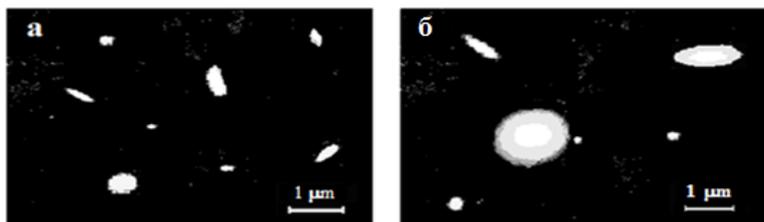
В объеме образцов  $n\text{-Si}\langle\text{Ni}\rangle$  при  $v_{\text{охл}} < 10$  град/сек после диффузионного отжига образуются микровключения с относительно большими размерами (до  $\sim 6 \cdot 10^{-6}$  м) и имеют в основном сферическую форму (рис. 2(б)). Микроструктурный анализ таких микровключений показал, что они состоят из нескольких силицидных слоев. На изображениях четко выделены границы между слоями силицидов, которое показывает, что каждая силицидная оболочка имеет определенное поверхностное напряжение.



**Рисунок 2. Фотографии примесей-примесей в образцах  $n\text{-Si}\langle\text{Ni}\rangle$  со скоростью охлаждения: а -  $v_{\text{охл}}=600$  град/сек; б -  $v_{\text{охл}}=1$  град/сек.**

Результаты микроструктурных исследований монокристаллов кремния, легированного кобальтом, показали, что в их объеме также образуются примесные микровключения. Они имеют разные формы и размеры. В образцах  $n\text{-Si}\langle\text{Co}\rangle$  с  $v_{\text{охл}}=400$  град/сек образуются примесные микровключения с иглообразными, линзообразными, дискообразными и сферическими формами, максимальные размеры которых достигают  $\sim 5 \cdot 10^{-7}$  м. Плотность таких микровключений составляет  $\sim 10^3$  см $^{-3}$ . В объеме образцов  $n\text{-Si}\langle\text{Co}\rangle$  с  $v_{\text{охл}} \leq 1$  град/сек наблюдаются сферические микровключения и их размеры достигают  $\sim 8 \cdot 10^{-7}$  м (рис. 3(а)).

Исследование структуры образцов  $p\text{-Si}\langle\text{Co}\rangle$  с быстрым охлаждением ( $v_{\text{охл}} \geq 400$  град/сек) показало, что примесные микровключения, образовавшиеся в их объеме, аналогичны микровключениям в  $n\text{-Si}\langle\text{Co}\rangle$ . Большинство из них имеют монослойную структуру, а также иглообразную, дискообразную, пластинчатую и линзообразную форму, с размерами до  $\sim 5 \cdot 10^{-7}$  м. В образцах  $p\text{-Si}\langle\text{Co}\rangle$  с  $v_{\text{охл}} \leq 1$  град/сек наблюдаются микровключения со сферическими и линзообразными формами, размеры которых достигают  $\sim 1,5 \cdot 10^{-6}$  м (рис. 3(б)). На рисунке показано, что примеси микровключения с относительно большими размерами имеют многослойную структуру.



**Рисунок 3. Снимки примесных микровключений кобальта:**  
**a - в образцах  $n\text{-Si}\langle\text{Co}\rangle$  с  $v_{\text{охл}}=1$  град/сек; b - в образцах  $p\text{-Si}\langle\text{Co}\rangle$**   
**с  $v_{\text{охл}}=1$  град/сек.**

**Обсуждение.** Рассмотрим отдельные элементарные стадии формирования структуры микровключений и механизмы их роста. В процессе диффузионного легирования существование мощного потока легирующих атомов в реакционной зоне, присутствие атомов Ni в окружающей кристаллической структуре вокруг вакансионных пор, дислокаций и трещин как независимой фазы приводит к тому, что силицид  $\text{NiSi}_3$  становится неустойчивым и превращается в силицид типа  $\text{NiSi}_2$ . Кроме того, простая реакция на образование силицида типа  $\text{NiSi}_3$  усложняется, и на последующих этапах одновременно происходят два процесса: образование силицида  $\text{NiSi}_3$  в поверхностной зоне и последующая «силицидация» в его внутренней зоне с образованием  $\text{NiSi}_2$ . В зависимости от скорости охлаждения образцов после диффузии процесс силицида может быть увеличен в порядке увеличения количества примесных атомов в микроструктуре. Последующие этапы формирования микровключений определяются ходом процессов проскальзывания примесных атомов как вдоль межатомной, так и межфазной границы. В связи с этим во время образования примесей микровключений на начальной стадии образуется силицид типа  $\text{NiSi}_3$ , затем силициды образуются в следующем порядке:  $\text{NiSi}_2$ ,  $\text{NiSi}$ ,  $\text{Ni}_2\text{Si}$ ,  $\text{Ni}_3\text{Si}$ .

Изучение этапов образования микровключений кобальта в кремнии показало, что образование многослойных микровключений кобальта также начинается с поверхностных слоев. На начальном этапе образования микровключений образуются силициды типа  $\text{CoSi}_3$  с последующим образованием силицидов в следующем порядке:  $\text{CoSi}_2$ ,  $\text{CoSi}$ ,  $\text{Co}_2\text{Si}$  и т. д.

**Закключение.** Таким образом, в процессе диффузионного легирования монокристаллов кремния образование многослойных примесных микровключений никеля и кобальта в кремнии начинается с внешних оболочек. Изначально образуется слой силицида с наименьшим значением в них доли примесных атомов. В последующих этапах формирования микровключений, в них образуются силицидные слои, более обогащенные металлом. Значение скорости охлаждения образцов, после диффузионного отжига играет существенную роль при формировании примесных микровключений.

### Список литературы:

1. Булярский С.В., Цыганцов А.В. Термодинамика формирования металлических кластеров // Журнал: Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. (Пенза). №1. 2009. С. 139-144.
2. Таланин В.И., Таланин И.Е. Применение диффузионной модели образования ростовых микродефектов для описания дефектообразования в термообработанных монокристаллах кремния // ФТТ. 2013. том 55. вып. 2. С. 247-251.
3. Weber J., Scheffler L., Kolkovski V., Yarykin N. New Results on the Electrical Activity of 3d-Transition Metal Impurities in Silicon // Solid State Phenomena. 2014. Vols. 205-206. P. 245-254.
4. Varentsov M.D., Gaidar G.P., Dolgolenko A.P., Litovchenko P.G. Influence of irradiation and annealing on the thermal stability of radiation defects in silicon // Questions of Atomic Science and Technology. Series: Physics of Radiation Damage and Radiation Material Science. 2010. № 5. pp. 27-35.
5. Таланин В.И., Таланин И.Е. Кинетика образования вакансионных микропор и междоузельных дислокационных петель в бездислокационных монокристаллах кремния // ФТТ. 2010. том 52. вып. 9. С. 1751-1757.
6. Зайнабидинов С.З., Каримбердиев Х.Х., Шоумарова М.М., Холбеков А.А. Стрoение и внутренние давления в примесных преципитатах никеля в кремнии // УФЖ. 1991. № 4. С. 43-46.

*ДЛЯ ЗАМЕТОК*

**НАУЧНЫЙ ФОРУМ:  
ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

*Сборник статей по материалам XIX международной  
научно-практической конференции*

№ 9 (19)  
Ноябрь 2018 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 15.11.18. Формат бумаги 60x84/16.  
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 4. Тираж 550 экз.

Издательство «МЦНО»  
125009, Москва, Георгиевский пер. 1, стр.1, оф. 5  
E-mail: [tech@nauchforum.ru](mailto:tech@nauchforum.ru)

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного  
оригинал-макета в типографии «Allprint»  
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3



НАУЧНЫЙ  
ФОРУМ  
[nauchforum.ru](http://nauchforum.ru)