

ISSN 2663-4228 (Print)
ISSN 2663-4236 (Online)

Вестник Донецкого национального университета



НАУЧНЫЙ
ЖУРНАЛ

*Основан
в 1997 году*

**Серия Г
Технические
науки**

3/2020

Редакционная коллегия журнала

«Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки»

Главный редактор – д-р техн. наук, проф. **В.В. Данилов**.

Зам. главного редактора – д-р техн. наук, ст. науч. сотр. **А.П. Симоненко**.

Ответственный секретарь – **И.А. Третьяков**.

Члены редколлегии: канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. **П.В. Асланов**; д-р техн. наук, доц. **Н.И. Болонов**; д-р техн. наук, проф. **С.А. Горожанкин**; канд. техн. наук, доц. **В.Д. Коренев**; канд. техн. наук, ст. науч. сотр. **А.А. Курушин** (Национальный исследовательский университет «МЭИ», Российская Федерация); канд. техн. наук, доц. **И.А. Молоковский**; канд. техн. наук, доц. **В.В. Паслён**; канд. физ.-мат. наук, доц. **В.И. Тимченко**; канд. техн. наук **Т.В. Ермоленко**; канд. техн. наук, доц. **Т.В. Завадская**; д-р техн. наук, проф. **С.А. Зори**; д-р техн. наук, проф. **М.Н. Чепцов**; канд. техн. наук **Т.В. Шарий**; канд. техн. наук, доц. **С.В. Гридин**; д-р техн. наук, проф. **Ф.В. Недопекин**; д-р техн. наук, проф. **С.М. Сафьянц**; д-р физ.-мат. наук, д-р техн. наук, проф. **В.К. Толстых**; д-р техн. наук, проф. **Г.В. Аверин**; д-р техн. наук, проф. **С.В. Борщевский**; д-р техн. наук, проф. **Е.В. Горохов**; председатель Госкомэкополитики при Главе ДНР **Р.В. Кишкань**; д-р хим. наук, проф. **А.И. Сердюк**; д-р архитектуры, доц. **Н.В. Шолух**.

The Editorial Board of the journal

“Bulletin of Donetsk National University. Series G: Technical science”

The Editor-in-Chief – Dr. of tech., prof. **V.V. Danilov**.

The Deputy of the Editor-in-Chief – Dr. of tech., senior researcher **A.P. Simonenko**.

Assistant Editor – **I.A. Tretiakov**.

The Members of the Editorial Board: Cand. of phys. and math., senior researcher **P.V. Aslanov**; Dr. of tech., docent **N.I. Bolonov**; Dr. of tech., prof. **S.A. Gorozhankin**; Cand. of tech., docent **V.D. Korenev**; Cand. of tech., senior researcher **A.A. Kurushin** (National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Russian Federation); Cand. of tech., docent **I.A. Molokovskiy**; Cand. of tech., docent **V.V. Paslyon**; Cand. of phys. and math., docent **V.I. Timchenko**; Cand. of tech. **T.V. Ermolenko**; Cand. of tech., docent **T.V. Zavadskaja**; Dr. of tech., prof. **S.A. Zori**; Dr. of tech., prof. **M.N. Cheptsov**; Cand. of tech. **T.V. Sharii**; Cand. of tech., docent **S.V. Gridin**; Dr. of tech., prof. **F.V. Nedopekin**; Dr. of tech., prof. **S.M. Safyants**; Dr. of phys. and math., Dr. of tech., prof. **V.K. Tolstikh**; Dr. of tech., prof. **G.V. Averin**; Dr. of tech., prof. **S.V. Borshchevskiy**; Dr. of tech., prof. **E.V. Gorokhov**; Chairman of the State Committee on Ecological Policy at the Head of the DPR **R.V. Kishkan**; Dr. of chem., prof. **A.I. Serdiuk**; Dr. of arch., docent **N.V. Sholukh**.

Адрес редакции: ГОУ ВПО «ДонНУ», 283001, ДНР, г. Донецк, ул. Университетская, д. 24

Тел.: +38 (062) 302 07 81, +38 (062) 302 92 88

E-mail: vestnik.donnu.g@donnu.ru

URL: <http://donnu.ru/vestnikG>

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (**Перечень ВАК**) (Приказ МОН ДНР №440 от 06.03.2020 г.) по следующим группам научных специальностей: **05.11.00** – Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы; **05.12.00** – Радиотехника и связь; **05.13.00** – Информатика, вычислительная техника и управление.

Журнал включен в национальную информационно-аналитическую систему **РИНЦ** (Лицензионный договор № 378-06/2016 от 24.06.2016 г. в ред. от 27.03.2019 г.): <http://elibrary.ru/titles.asp?sortorder=0&titlename=2663-4228>

Журнал включен в международную индексационную наукометрическую базу **Index Copernicus International Journals Master List**: <http://journals.indexcopernicus.com/search/details?id=63327>

Печатается по решению Ученого совета ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

Протокол №8 от 30.10.2020 г.

Вестник Донецкого национального университета

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ОСНОВАН В 1997 ГОДУ

Номер посвящён памяти
заслуженного профессора ДонНУ,
доктора технических наук
Фёдора Викторовича Недопёкина

Серия Г: Технические науки

№ 3

Донецк 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Вступительное слово

3

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Третьяков И.А. Анализ направлений развития устройств обработки сигналов на принципах функциональной электроники 4

Романчук С.М., Силенко Е.М., Силенко С.Е., Казакова В.Е. Электромагнитные измерительные преобразователи скорости потоков жидкости – итоги исследований и разработок 9

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

Давыдов А.Г., Курушин А.А. Моделирование зонтичной антенны с помощью FEKO 21

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Бабичева М.В., Усачева А.С. Исследование уязвимостей алгоритма шифрования RSA 33

Костенков В.С., Данилов В.В. Особенности научно-технологического развития Российской Федерации в контексте проверки подлинности документов и их авторства 38

Андриевская Н.К. Разработка прикладной онтологии в системах обработки данных научных и научно - образовательных организаций 43

Кожекина Е.Н., Волошин А.Г. Проектирование инфраструктуры открытых ключей 52

Пометун Е.Д., Беззуб А.А. Оптимизация определения градуировочной характеристики NTC - термистора при автоматизации измерений нестационарной температуры 61

ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

Беззуб А.А., Белоусов В.В., Недопёкин Ф.В., Бондаренко В.И., Бодряга В.В. Моделирование гидродинамических и теплофизических процессов в агрегате ковш-печь 66

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Золотарёва И.А., Симоненко А.П., Погоржельский Е.С., Ковалёв В.В. Гидродинамически-активные композиции для решения проблем энергосбережения и экологической безопасности на объектах строительства 73

Памяти Фёдора Викторовича Недопёкина 83

Правила для авторов 86

Bulletin of Donetsk National University

SCIENTIFIC JOURNAL

FOUNDED IN 1997

Number dedicated to the memory of
the Honored Professor of DonNU,
Doctor of Technical Sciences
Fedor Victorovich Nedopekin

Series G: Technical science

No 3

Donetsk 2020

CONTENTS

Opening remark	3
----------------	---

INSTRUMENT ENGINEERING, METROLOGY AND INFORMATION-MEASURING INSTRUMENTS AND SYSTEMS

<i>Tretiakov I.A.</i> Analysis of trends in the development of signal processing devices based on the principles of functional electronics	4
--	---

<i>Romanchyk S.M., Silenko E.M., Silenko S.E., Kazakova V.E.</i> Electromagnetic measuring transducers of fluid flow velocity - results of research and development	9
---	---

RADIO ENGINEERING AND COMMUNICATION

<i>Davydov A.G., Kurushin A.A.</i> Modeling over-horizon antenna using FEKO	21
---	----

COMPUTER SCIENCE AND COMPUTER FACILITIES AND MANAGEMENT

<i>Babicheva M.V., Usachova A.S.</i> A study of the vulnerabilities of the encryption algorithm RSA	33
---	----

<i>Kostenkov V.S., Danilov V.V.</i> Peculiarities of scientific and technological development of the Russian Federation in the context of checking the authenticity of documents and their authority	38
--	----

<i>Andrievskaya N.K.</i> Development of applied ontology in data processing systems of scientific and educational organizations	43
---	----

<i>Kozhekina E.N., Voloshin A.G.</i> Designing a public key infrastructure	52
--	----

<i>Pometun E.D., Bezzub A.A.</i> Optimization of determination of the NTC - termistor grading characteristic at automation of measurements of non-stationary temperature	61
--	----

INDUSTRIAL HEAT AND POWER ENGINEERING

<i>Bezzub A.A., Belousov V.V., Nedopekin F.V., Bondarenko V.I., Bodryaga V.V.</i> Modeling of hydrodynamic and thermophysical processes in the ladle-furnace	66
--	----

ECOLOGICAL SAFETY OF CONSTRUCTION AND URBAN SERVICES

<i>Zolotaryova I.A., Simonenko A.P., Pogorzelsky E.S., Kovalyov V.V.</i> Hydrodynamic-active compositions for solving problems of energy saving and environmental safety at construction objects	73
--	----

In memory of Fedor Victorovich Nedopekin	83
--	----

Instructions for authors	86
--------------------------	----

Уважаемые коллеги!

22 октября произошла большая трагедия для нашего факультета, на 72 году жизни ушёл доктор технических наук, заслуженный профессор ДонНУ, и. о. заведующего кафедрой физики неравновесных процессов, метрологии и экологии им. И. Л. Повха, а также член редакционной коллегии журнала «Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки» – Фёдор Викторович Недопёкин.



Мы выражаем глубокие искренние соболезнования семье и близким в связи с кончиной этого достойного человека. Светлая память о Фёдоре Викторовиче – добром, отзывчивом, жизнерадостном человеке – навсегда сохранится в наших сердцах.

Фёдор Викторович Недопёкин прожил долгую и полноценную жизнь, многого достиг в своей жизни, пользовался большим авторитетом среди коллег, был примером для студентов. Мы все уверены, что его всегда будут помнить трудолюбивым, умным, доброжелательным, простым в общении человеком, готовым всегда оказать профессиональную и человеческую помощь.

Данный номер нашего журнала посвящен памяти заслуженного профессора ДонНУ, доктора технических наук Фёдора Викторовича Недопёкина.

Редакционная коллегия журнала и
коллектив Физико-технического факультета

П Р И Б О Р О С Т Р О Е Н И Е , М Е Т Р О Л О Г И Я И И Н Ф О Р М А Ц И О Н Н О - И З М Е Р И Т Е Л Ь Н Ы Е П Р И Б О Р Ы И С И С Т Е М Ы



УДК 621.382

АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ УСТРОЙСТВ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ НА ПРИНЦИПАХ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

© 2020 *Третьяков И.А.*

В настоящей работе проанализированы направления развития функциональной электроники, и существующие физические явления потенциально пригодные для создания устройств обработки радиосигналов на принципах функциональной электроники. Обоснована связь основных направлений развития схмотехнической и функциональной микроэлектроники. Устройство функциональной электроники рассмотрено как процессор, выполненный на отличных от традиционных процессорных принципов.

Ключевые слова: функциональная электроника, схмотехника, микроэлектроника, обработка сигналов, активная среда, процессор.

Введение. Основным структурным элементом любой информационно-измерительной системы являются вычислительные средства обработки сигналов. Переход к цифровым методам обработки сигналов позволил существенно улучшить основные технические характеристики вычислительных средств таких, как надежность, технологичность и др. Однако, такой переход сопровождался и определенным рядом недостатков. Известно, что аналоговая обработка (с использованием аналоговых вычислительных средств) позволяет на несколько порядков улучшить массогабаритные, энергозатратные и скоростные характеристики аппаратных реализаций вычислительных средств, повысить их производительность. Достижение этого, как один из подходов решения проблемы, может быть реализовано использованием принципов функциональной электроники, основной из которых переход от микроминиатюризации микросхем к миниатюризации устройств [1, 2].

Целью настоящей работы является обзор направлений развития функциональной электроники, анализ существующих физических явлений потенциально пригодных для создания устройств обработки радиосигналов на принципах функциональной электроники, рассмотрение структур, назначения, достоинств и недостатков, а также, возможностей использования таких устройств не только в вычислительных средствах, но и в смежных областях науки и техники.

Направления развития функциональной электроники. Основной отличительной особенностью современной электроники твердого тела является высокий уровень степени интеграции как за счет увеличения числа элементов в кристалле, так и за счет усложнения выполняемых функций. Путем микроминиатюризации появились сверхбольшие интегральные схемы, состоящие из десятков и сотен тысяч транзисторов, с определенной архитектурой, схмотехникой и системотехникой. Уровень микроминиатюризации (степень интеграции) продолжает непрерывно расти, хотя темпы роста в последнее время замедляются в связи с

приближением сверхбольших интегральных схем к предельным возможностям по размерам элементов, рассеиваемой мощности, скорости передачи сигнала и т. п. Еще недавно минимальные топологические размеры для интегральных схем массового производства составляли около 5 мкм. Сейчас эта величина уменьшилась до 1 мкм. Сегодня ставится вопрос об освоении субмикронных размеров, однако при этом возникает целый ряд серьезных проблем, связанных с физическими ограничениями, вызванными возникновением туннельных явлений. Прогнозируется, что пределом уменьшения размеров элемента топологии (ширина линий, зазоров между ними и т. д.) является величина 0,2 мкм. В то же время есть все основания полагать, что еще до достижения физических пределов интеграции возникнут весьма существенные технологические ограничения, вызванные в первую очередь влиянием посторонних микрочастиц в окружающей среде, вследствие чего существенно снижается воспроизводимость технологических процессов (процент выхода годных микросхем).

Другим серьезным ограничением являются трудности, связанные с переходом к субмикронным линиям при нанесении рисунка схемы (трудности литографии). Учитывая, что длина волны видимого света (0,4 - 0,7 мкм) становится соизмеримой с толщиной проводников схемы, специалисты – разработчики современных сверхбольших интегральных схем вынуждены переходить к рентгено-, электронно- и даже протонолитографии. Кроме того, при переходе к субмикронной технологии существенно возрастает влияние процессов ионного легирования и температурных изменений [3].

Одним из существенных ограничений традиционной схемотехнической микроминиатюризации является проблема межсоединений, вызванная существенным возрастанием доли кристалла, занимаемой соединениями между схемотехническими дискретными элементами (транзисторами, диодами и т. д.). Так, например, при переходе к 12-уровневой разводке при 20000 вентилях на кристалле разводка будет занимать около 50% площади кристалла, что резко снижается коэффициент полезного использования площади подложки. С другой стороны, расчеты показывают, что толщина металлических и особенно диэлектрических слоев не должна быть меньше 0,05 мкм, что обусловлено проблемой рабочих и пробивных напряжений. В этом случае проблема дефектов еще более обостряется, резко снижая надежность изделий.

Большие надежды в решении указанных проблем микроэлектроники связывают в последние годы с твердотельной электроникой, в которой ведутся поисковые работы по использованию новых физических принципов и эффектов с целью создания принципиально новых электронных устройств, отличительной особенностью которых является использование несхемотехнических принципов построения [4]. В этом случае функции схемотехники выполняют непосредственно те или иные физические процессы, характерной чертой которых является наличие и использование для хранения и обработки информации так называемых динамических неоднородностей в однородном объеме твердого тела. Физическая интеграция, использующая динамические неоднородности для выполнения определенных функций, приводит к исключению схемотехники или значительному снижению ее удельного веса. Данное направление в твердотельной электронике называют функциональной микроэлектроникой, а устройства, реализующие ее принципы, – устройствами функциональной электроники.

Необходимо подчеркнуть, что появление функциональной электроники никоим образом не ставит под угрозу развитие традиционной схемотехнической электроники, а лишь дополняет, расширяет возможности и перспективы современной

микроэлектроники. Это единство и взаимное дополнение схмотехнической и функциональной микроэлектроники наглядно представлено на рис. 1.

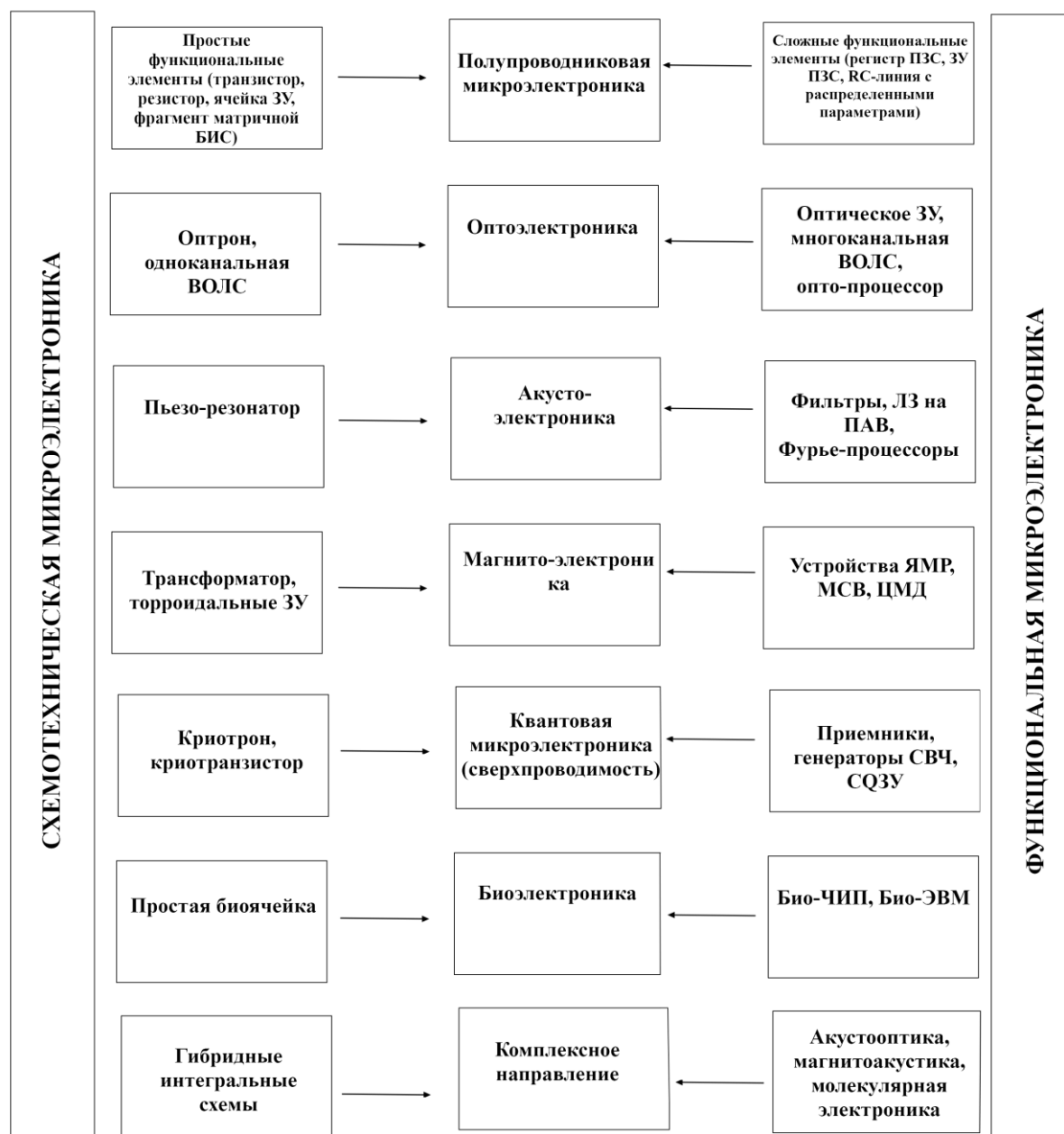


Рис. 1. Связь основных направлений развития схмотехнической и функциональной микроэлектроники

Рассмотрим кратко основные направления современной функциональной микроэлектроники с позиций функциональной общности устройств функциональной электроники, в основе которых лежат существенно различные физические явления.

Как и любые электронные приборы, устройство функциональной электроники выполняет три основные функции: ввод информации, обработку сигналов, вывод информации. Однако основной отличительной особенностью устройства функциональной электроники является функция, выполняемая активной средой, в которой накапливается подвергаемая обработке информация, в то время как любой прибор традиционной схемотехнической электроники сам по себе накапливать информацию не может. Эту функцию выполняет устройство, включающее в себя множество функциональных элементов.

Необходимость обработки больших объемов информации привела к созданию интегральных схем, содержащих до миллиона транзисторов на одном кристалле. Активная среда устройства функциональной электроники обладает двумя характерными отличительными признаками: в ней может храниться и обрабатываться большой объем информации и управление ею обеспечивает изменение алгоритма обработки сигнала. Следовательно, устройство функциональной электроники по своим отличительным признакам близко к процессору ЭВМ, реализуемому в виде специализированной большой интегральной схемы на традиционных транзисторных структурах, однако в устройствах функциональной электроники процесс обработки сигнала происходит в среде, однородной в смысле ее конструкторско-технологической реализации.

Выводы. Устройство функциональной электроники представляет собой процессор, выполненный на отличных от традиционных процессорных принципов, и заменить его не могут все возможные реализации процессоров на сверхбольших интегральных схемах. Устройства функциональной электроники успешно осуществляют обработку аналоговых сигналов, не нуждаясь в предварительном переводе сигнала в цифровой код, при этом обработку совершается в реальном масштабе времени. Прекрасные массогабаритные и энергетические характеристики наряду с высокой надежностью и быстродействием делают процессоры устройства функциональной электроники весьма перспективными приборами, способными обеспечить решение задач по созданию аппаратуры нового поколения, использующей новые физические принципы и явления.

Направлением для дальнейших исследований является обоснование реализаций структур процессоров функциональной электроники, таких как процессоры на приборах с зарядовой связью, процессоры на цилиндрических магнитных доменах, процессоры на поверхностных акустических волнах, процессоры на спиновых волнах (СВ-процессоры), процессоры на эффекте спинового или электроакустического эха.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шука А. А. Электроника / А. А. Шука ; под редакцией профессора А. С. Сигова. – Санкт-Петербург : ХВ-Петербург, 2006. – 800 с.
2. Федотов Я. А. Функциональная электроника / Я. А. Федотов. – Москва : Высш. шк., 2000. – 455 с.
3. Мартынов В. В. Технология полупроводниковых приборов и изделий микроэлектроники. Книга 8: Литографические процессы / В. В. Мартынов, Т. Е. Базарова. – Москва : Высшая школа, 1990. – 128 с.
4. Гуляев Ю. В. Проблемы современной радиотехники и радиоэлектроники / Ю. В. Гуляев. – Москва : Наука, 2001. – 475 с.

Поступила в редакцию 22.06.2020 г.

**ANALYSIS OF TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF SIGNAL PROCESSING DEVICES BASED ON
THE PRINCIPLES OF FUNCTIONAL ELECTRONICS**

Tretiakov I.A.

In this paper, we analyze the directions of development of functional electronics, and the existing physical phenomena that are potentially suitable for creating radio signal processing devices based on the principles of functional electronics. The connection of the main directions of development of circuit engineering and functional microelectronics is proved. The device of functional electronics is considered as a processor made on different from traditional processor principles.

Keywords: functional electronics, circuitry, microelectronics, signal processing, active medium, processor.

Третьяков Игорь Александрович

заведующий учебной лабораторией кафедры
радиофизики и инфокоммуникационных
технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный
университет»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: es75i@mail.ru

Tretiakov Igor Aleksandrovich

Head of laboratory at Department of Radiophysics
and Infocommunication Technologies of Donetsk
National University,
DPR, Donetsk.

УДК 532.5.011

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СКОРОСТИ ПОТОКОВ ЖИДКОСТИ – ИТОГИ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТОК

© 2020 Романчук С.М., Силенко Е.М., Силенко С.Е., Казакова В.Е.

Рассмотрены различные модификации конструкций, разработанных электромагнитных измерительных преобразователей скорости потоков жидкости. На их основе созданы измерительно-информационные комплексы, используемые в различных прикладных и научных исследованиях.

Ключевые слова: электромагнитные измерительные преобразователи, скорость потока жидкости, турбулентные пульсации скорости, турбулентный спутный след, градуировка, гидродинамическая труба, термоанемометр.

Введение. На протяжении ряда лет первостепенными направлениями исследований и разработок на кафедре физической гидродинамики и СКТБ «Турбулентность» ДонНУ являлись проблемные вопросы, возникающие при измерении как осредненных скоростей потоков жидкости, так и их турбулентных пульсаций. В процессе их решения приоритет был отдан электромагнитному методу измерения скорости, обладающему наиболее точными и совершенными средствами измерения [1].

Вклад специалистов ДонНУ, СКТБ «Турбулентность» ДонНУ, по крайней мере, в отечественные разработки, был несомненен. Вот пример. В диссертационной работе Ю.А. Ганьшина [2], выполненной в 2011г. в Санкт-Петербургском государственном университете аэрокосмического приборостроения, отмечено, – цитата: «Среди советских разработчиков, занимавшихся проблемами электромагнитного контроля нескольких составляющих скорости, необходимо отметить работы Болонова Н.И., Повха И.Л.»

Перечень существующих на то время разработок, их уровень, варианты технических решений электромагнитных измерителей скорости потоков жидкости, реализованных в ДонНУ, СКТБ «Турбулентность» в достаточной мере представлены в ряде публикаций, авторских свидетельств, диссертационных работ, например, [3, 4, 5].

Однако, реальные условия эксплуатации существенно ограничивают пространство жизнеспособных конструкторско-технологических решений измерителей скорости. В этой связи настало время обобщить результаты полученных решений, определить приоритетные и оптимальные конструктивные решения электромагнитных устройств, возможные пути возобновления процесса их изготовления для использования этих устройств как в различных гидрофизических, гидрологических исследованиях, так и в различных сферах функционирующего городского хозяйства.

Основная часть. Идея измерять скорость, а, равно и расход жидких электропроводящих сред, с помощью электромагнитной индукции принадлежит Майклу Фарадею. Если создать магнитное поле, направление вектора которого нормально вектору потока измеряемой жидкости, то в ней будет возникать электрическое поле, суммарная ЭДС которого будет пропорциональна скорости потока жидкости.

Не вдаваясь в детальный анализ факторов, влияющих на коэффициент преобразования измерительного преобразователя (ИП), реализующего измерение

скорости методом электромагнитной индукции, можно выделить наиболее существенные, такие как:

- форма и размеры первичного измерительного преобразователя (ПИП);
- места размещения, геометрия, материал и размеры электродов;
- величина и направление индукции магнитного поля, ее распределение в

измеряемом рабочем объеме жидкости.

Таким образом, для создания метрологически надежного ИП, его конструкция должна иметь стабильные параметры магнитного поля с привязкой их к геометрии датчика. Кроме этого, необходимо обеспечить герметичность электродных узлов ИП с учетом всех возможных в процессе установки и эксплуатации воздействий на них. Эти требования в равной степени относятся ко всем типам электромагнитных измерителей.

Конструктивно и функционально электромагнитные ИП можно классифицировать следующим образом:

Электромагнитные расходомеры полного сечения. Измерители этого типа измеряют усредненную скорость потока жидкости, протекающую по измерительному каналу, и могут функционировать только при полном заполнении канала. Магнитная система измерителей размещена вне потока. Приборы данного типа определяют класс полнопроходных электромагнитных расходомеров.

Зондовые электромагнитные измерители составляющих скорости погружного типа. Измерители этого типа работают по такому же признаку, что и любой полнопроходной расходомер с катушками возбуждения и измерительными электродами. Однако, схема размещения иная – вода, вместо того, чтобы протекать через измеритель, обтекает его. Он является, по существу, электромагнитным расходомером, «вывернутым наружу».

Магнитогидродинамические (МГД) зондовые ИП турбулентных пульсаций скорости. В практике гидродинамических исследований наибольшее распространение получили МГД преобразователи с внешним полем рассеивания магнитных систем, выполненные с эллиптическим носовым отводом.

На практике тот или иной ИП используется в зависимости от конкретных задач и условий применения.

Результаты разработок и исследований ИП по каждому из вышеуказанных многообразий конструкций приведены ниже.

Результаты разработок. Электромагнитные расходомеры полного сечения. Подробный обзор состояния и перспективы развития электромагнитных расходомеров полного сечения изложены в одноименной работе [1]. Здесь также описаны физические принципы построения электромагнитных расходомеров, особенности их конструкций и технологии производства, приведены метрологические и технические характеристики измерителей.

Используя собственный опыт, а также анализ рекомендаций предшественников, в СКТБ «Турбулентность» ДонНУ были разработаны и изготовлены экспериментальные образцы электромагнитных измерителей полного сечения с каналом прямоугольной формы при соотношении сторон 2 к 1 выполненном из электротехнической керамики. На больших сторонах прямоугольного канала установлены полюса магнитной системы, а на меньших – электроды для измерения индуцируемой ЭДС. У такого измерителя индуцируемая ЭДС инвариантна к профилю скоростей потока, что позволяет устанавливать измеритель непосредственно перед гидравлическим сопротивлением, так как для расходомеров с прямоугольным каналом прямолинейные участки трубопровода не требуются. Кроме этого, поскольку векторы скорости и магнитной индукции

взаимно ортогональны, сигнал индуцируемой ЭДС достигает максимальных значений по сравнению с другими конструкциями. Данное конструктивное решение было запатентовано [6].

Разработка расходомера выполнена в следующих типоразмерах: Ду 32, Ду 50, Ду 65, рис.1, что позволило измерять объемный расход в диапазоне от 0,4 до 60 м³/ч практически любых, в том числе, агрессивных, абразивных и пищевых жидкостей. Применение керамического канала позволило использовать преобразователь при температурах от 5 до 200 °С и давлении до 25 МПа. Для определения метрологических характеристик ИП использовалась установка расходомерная типа УРМ-2000 с пределом измерения до 250 м³/ч, класс точности 0,33.

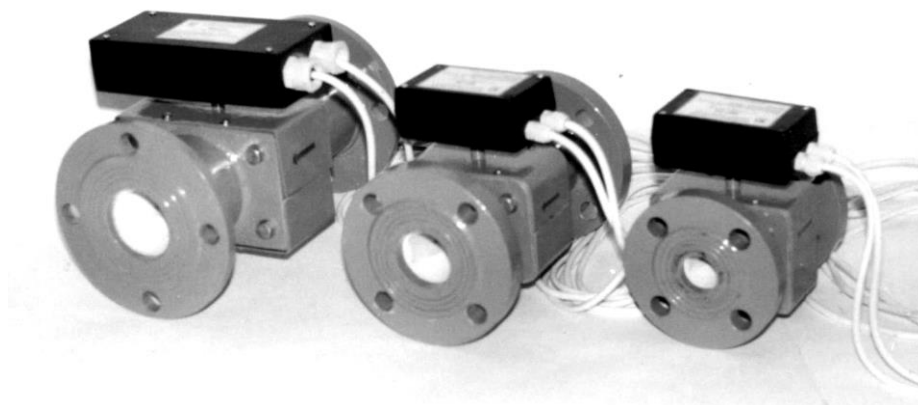


Рис. 1. Электромагнитные расходомеры полного сечения с керамическим каналом

Обладая рядом преимуществ [7], керамические материалы, тем не менее, из-за своей хрупкости требуют деликатного отношения. Основная трудность, а равно, и стоимость такого расходомера определяется изготовлением керамического канала и обусловлена технологической сложностью процесса производства. Авторы работы [7], проанализировав опыт предшественников в разработке и производстве ПИП с керамическим измерительным каналом, реанимировали исследования в этом направлении. Решающую роль в принятии этого непростого решения, а также при выборе типа керамики сыграл колоссальный опыт производства и применения корундовой вакуум-плотной керамики Владыкинским механическим заводом (Россия), где этот тип керамики производится и используется для изготовления различного рода изделий электротехнического назначения, в том числе и по конверсионным программам.

В процессе производства расходомеров в СКТБ «Турбулентность» не все опытные образцы изготавливаемого керамического канала соответствовали предъявляемым требованиям в силу того, что единственное региональное предприятие – изготовитель керамического канала не обладало тем достаточным опытом изготовления подобных изделий, что в свою очередь, еще раз подтверждает сложность вроде бы простой и тривиальной конструкторско-технологической задачи.

В настоящее время, в связи с ликвидацией регионального предприятия-изготовителя керамического канала, производство электромагнитных расходомеров полного сечения приостановлено. Реанимация данной разработки и процесса производства требуют новых усилий и поиска ответов на непростые вопросы следующего уровня.

Зондовые электромагнитные измерители составляющих скорости погружного типа. Электромагнитные измерители (ЭМИ) погружного типа определяют скорость потока в локальной точке и используются как для непосредственного измерения скорости потока, профиля скорости, так и для определения объемного расхода методом «площадь-скорость» в реальных промышленных трубопроводах среднего и большого диаметров, безнапорных каналах систем городского водоснабжения, канализации и на узлах учета хозяйственно-бытовых стоков очистных сооружений.

Кроме того, такие электромагнитные ИП могут использоваться для постоянного мониторинга и периодического локального обследования различных систем водоснабжения. Для решения этих задач конструктивно предусмотрена возможность установки ИП на трубопровод без переустройства трубопровода и нарушения режима подачи воды. Обычно ПИП устанавливаются на уже существующие трубопроводы через небольшое отверстие в одну из двух позиций, – либо на центральной линии оси трубы, либо на расстоянии $0,121$ диаметра трубы (точка средней скорости). Для установки на трубопроводы, находящиеся под давлением, измеритель комплектуется системой ввода с шлюзом. Функционировать такие измерители могут в автономном режиме с дистанционной передачей результатов измерений. Наличие прикладного программного обеспечения позволяет управлять измерительным процессом, производить обработку данных сигнала с ПИП с предоставлением информации пользователю.

Незаменимы такие ИП и при исследованиях течений, орбитальных волновых скоростей при гидрологических измерениях режимов рек, естественных водоемов, прибрежных зон морей, нахождения эпюр скоростей в открытых русловых потоках, а также при измерении компонент скорости движущихся морских или речных объектов.

К числу исключительных особенностей ЭМИ следует отнести широкий диапазон измеряемых величин скоростей при минимальных скоростях потока, существенно меньших, чем те, которые могут измеряться вертушечными преобразователями или датчиками перепада давлений. Отсутствие в измерителе движущихся частей значительно повышает их надежность и снижает потребность в техническом обслуживании.

В последнее время рядом организаций, как в России, так и за ее пределами ведутся поиски перспективных и оптимальных конструкций ЭМИ скорости потока жидкости, гидрологических комплексов с использованием этих преобразователей [<http://www.typhoon.obninsk.ru/>]. Помимо развития самого метода измерения, актуальными остаются разработки ПИП, позволяющих с одной стороны повысить точность измерений за счет оптимизации и улучшения конструкции самих преобразователей, а с другой – улучшить саму методику проведения измерения за счет выполнения непосредственно измерительным комплексом необходимых вычислений, с накоплением и дистанционной передачей данных. Реализация перспективных измерителей в виде универсальных компактных автономных информационных комплексов и устройств позволит расширить круг решаемых научных и практических задач.

Из последних Российских разработок электромагнитных ПИП скорости заслуживают критического внимания устройства [8, 9]. Основным техническим результатом, достигаемым при использовании данных устройств, в данном случае двухкомпонентных датчиков скорости, по мнению их авторов, является повышение чувствительности, улучшение метрологических характеристик, уменьшение

погрешности измерений. Повышение чувствительности достигается за счет смещения магнитных силовых линий в рабочую область преобразователя. Идея эта не нова. Впервые она была предложена в устройстве [10], на которое собственно и ссылаются авторы патента [9], с той лишь разницей, что в устройстве [9] для этой цели используется фокусирующие катушки, а в авторском свидетельстве [10] датчик снабжен дополнительным магнитом.

Сложное пространственное распределение магнитного поля в этих преобразователях не позволяет в течениях, характеризующимися большой изменчивостью вектора скорости, однозначно выделить ту или иную компоненту скорости.

Более подробно двухкомпонентный датчик измерителя скорости по патенту [8] описан в диссертационной работе одного из авторов патента [2], где заявлено о «четырёхкратном снижении погрешности при одновременном измерении нескольких составляющих скорости», при этом, отсутствует метрологическое подтверждение подобного заявления. В этой связи, проблематичной является и основная цель патента [8] «... создание двухкомпонентного датчика измерителя скорости электропроводящей жидкости с улучшенными характеристиками». Такого рода заявления должны базироваться только на результатах метрологической аттестации измерителя. В той же работе [2] описывается и конструкция трехкомпонентного измерителя [11]. Каким образом методически, где и на какой установке можно провести его метрологическую аттестацию не ясно. Поэтому, важной и неотъемлемой задачей в процессе разработки является использование, а в случае отсутствия, создание поверочных специальных гидродинамических стендов (рабочих эталонов) для аттестации и поверки измерителей по заранее утвержденной органами Госстандарта Программе и методике.

Основной задачей, на решение которой были направлены последние разработки СКТБ «Турбулентность» ДонНУ являлось оптимизация однокомпонентного ПИП, как наиболее востребованного в практических измерениях. Результаты разработки [12], были положены в основу двухкомпонентного измерителя, отличающегося от однокомпонентного ПИП наличием дополнительной пары измерительных электродов [13].

Технический результат обеих разработок был достигнут тем, что:

- первичные измерительные преобразователи выполнены в виде цилиндра и содержат магнитную систему из сердечника и двух последовательно, однонаправлено включенных обмоток возбуждения для создания симметричного магнитного поля, что позволяет получить конкретную и стабильную диаграмму направленности и, тем самым, однозначно определить ту или иную компоненту скорости потока;

- обмотки возбуждения магнитной системы заключены в цилиндрические четырехлепестковые концентраторы, выполненные из магнитомягкого материала. Будучи частью сердечника, концентраторы формируют в области измерительных электродов сосредоточенное в рабочей области магнитное поле повышенной напряженности, увеличивая тем самым в процессе измерения соотношение сигнал/шум. Кроме того, концентраторы одновременно являются дополнительными, экранирующими катушки элементами, что в свою очередь повышает помехоустойчивость преобразователя;

- оба преобразователя выполнены соосно с державкой одного с ней диаметра, что позволяет осуществлять установку измерителей на уже существующие напорные трубопроводы через равнопроходной вентиль без переустройства трубопровода. Варьируя базовыми размерами преобразователей их можно

устанавливать на трубопроводы средних и больших диаметров в конкретные позиции для непосредственного измерения местных скоростей потока жидкости с последующим пересчетом в объемный расход по методу «площадь – скорость». Такое размещение обеспечивает высокую точность измерений как скорости потока в данной точке, так и объемного расхода.

Сущность разработанного двухкомпонентного ПИП поясняется рисунком 2, где схематично изображен общий вид конструкции преобразователя и его продольный разрез.

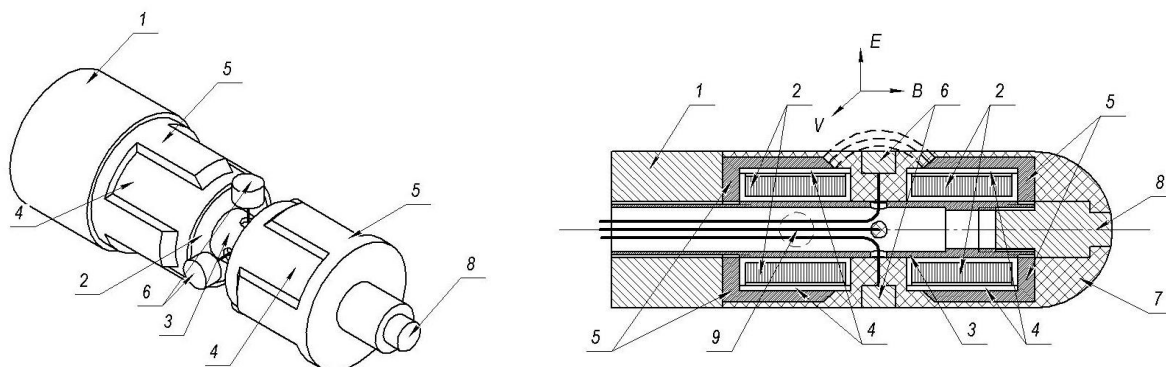


Рис. 2. Общий вид конструкции преобразователя и его продольный разрез

Преобразователь, закрепленный на державке 1, герметически покрыт эпоксидным компаундом 7 и содержит магнитную систему, состоящую из полого цилиндрического центрального сердечника 3 с концентраторами 5, обмоток возбуждения 2 с экранами 4 и две пары электродов 6. Обмотки возбуждения 2 размещены на центральном сердечнике – полой цилиндре 3 и помещены в черырёхлепестковые концентраторы 5, которые, в свою очередь, являются частью сердечника, образуя общий магнитопровод преобразователя. Две пары электродов 6 ориентированы на поверхности преобразователя вдоль взаимно перпендикулярных осей к главной оси преобразователя. Электроды 6 посредством проводов 9 подключены к входу измерительного преобразователя. Опорный электрод 8, соединенный с державкой, расположен на центральной оси преобразователя в рабочем торце державки и, как система электродов 6, выполнен заподлицо с поверхностью преобразователя.

Определение метрологических характеристик преобразователей, осуществлялось на аттестованной специальной градуировочной установке, посредством перемещения измерителя с заданной скоростью относительно неподвижной водной среды. Перемещение измерителя в прямолинейном бассейне специальной градуировочной установки осуществляется с помощью тележки со сложным координатно-поворотным устройством для установки испытуемого преобразователя с различной ориентацией в пространстве. Данные испытания проводились в соответствии с ГОСТ 8.571-2000 «Измерители скорости жидкости потоков. Методы и средства поверки».

В процессе испытания диапазон и пределы измерения скорости были ограничены техническими возможностями градуировочной установки и составляли 0,02...2,2 м/с. Предел основной относительной погрешности составил $\pm 2,0\%$ при измерении скорости потока от 0,02 до 0,2 м/с и $\pm 1,0\%$ при скорости от 0,2 до 2,2 м/с для каждый компоненты и эти значения погрешности сохраняются в пределах углов поворота преобразователя вокруг центральной оси $\pm 3^\circ$.

Использование лепестковых концентраторов позволило увеличить напряженность магнитного поля в рабочей области преобразователя на 10 – 12%.

Разработанные измерительные преобразователи были использованы в комплексных работах, таких как:



Рис. 3. Измерение скорости потока на выходе галерей водосбросового сооружения Третьего городского пруда

– гидрологическое обследование окрестных водоемов и их водотоков (каскад городских прудов – Первый, Второй, Третий; Донецкое водохранилище; река Ольховка), рис.3. Работы проводились по заданию Управления экологической безопасности Донецкого горсовета;

– измерение расходов в системах городского водоснабжения и канализации. Работы проводились по заданию ПУ «Донецкводоканал» и ГП «Вода-Донбасса».

Магнитогидродинамические измерительные преобразователи пульсаций скорости. В процессе гидрологических наблюдений за динамикой водных масс важное значение имеет не только исследование течений, но и естественной турбулентности. Такой интерес к исследованию естественной турбулентности обусловлен, в первую очередь, определяющей ролью турбулентности в формировании гидрофизических полей в морях, океанах и естественных водоемах. Кроме стандартных, общеизвестных методов исследований естественной турбулентности [14] существует и целый ряд специальных методик [15, 16]. В силу того, что в лабораторных условиях невозможно смоделировать след с нулевым избыточным импульсом за осесимметричным телом, сгенерированным при больших числах Рейнольдса, и проследить его развитие и вырождение вплоть до диссипации турбулентной энергии, актуальными являются натурные эксперименты по исследованию турбулентных спутных следов (ТСС) за самодвижущимися объектами, представляющие кроме прикладного значения и чисто научный интерес. Анализ физических процессов, происходящих при образовании и развитии ТСС, показывает, что первичным является динамическое поле пульсаций скорости, которое во многом определяет все характеристики спутного течения.

Для таких исследований мелкомасштабной турбулентности, ответственной в конечном итоге за диссипацию кинетической энергии как вод естественных водоемов, так таких сложных течений как ТСС, требуются чувствительные, малоинерционные, метрологически аттестованные первичные измерительные преобразователи турбулентных пульсаций скорости.

Рамки данной статьи не позволяют рассмотреть все многообразие конструкций МГД ПИП, разработанных и испытанных в СКТБ «Турбулентность» ДонНУ. В достаточной мере они представлены в библиографии обзорной работы [4].

В практике гидрофизических исследований естественной океанической турбулентности, а также натурных экспериментов по исследованию динамики ТСС

подводной лодки (ПЛ) [15], надводного корабля (НК) [16], рис.4 наибольшее распространение получили МГД ПИП пульсаций скорости, разработанные в СКТБ «Турбулентность» ДонНУ, ЦНИИ «Гранит» г. Санкт-Петербург и совместные разработки [10, 17, 18]. Это МГД-преобразователи, выполненные в виде тела вращения с эллиптическим носовым обводом, позволяющие проводить измерения как в низкотурбулентных, так и в высокотурбулентных потоках, рис.5. Основная отличительная особенность таких ПИП состоит в том, что путем уменьшения площади



Рис. 4. Турбулентный спутный след надводного корабля

полюсов постоянных магнитов и зазора между ними обеспечивается смещение магнитных силовых линий в зону, расположенную впереди носового обвода преобразователя, которая и является его рабочей областью. Кроме того, чувствительные элементы (электроды) вынесены на поверхность преобразователя и торцами обращены к вектору скорости набегающего потока. Преобразователь позволяет измерять продольную компоненту пульсационной скорости, а как показано в работе [19], на их основе возможно обеспечить и независимое измерение одновременно двух составляющих – продольной и поперечной.

Отработанная технология и опыт производства МГД ПИП в СКТБ «Турбулентность» позволили изготавливать преобразователи для проведения исследований на

глубоководных морских полигонах. При этом ИП устанавливались на различных объектах:

- в составе комплекса аппаратуры на всплывающих зондах, испытанных, в том числе, в арктических условиях на дрейфующих станциях СП-26 и СП-30 [20];
- на специальных пилонах, расположенных на носу и рубке ПЛ в соответствии с методикой проведения натурных исследований [15], рис.5а;
- в головной части экспериментальных торпед-лабораторий [16], рис.5б.

В методическом отношении схема проведения гидрофизических измерений по разрезам с помощью автономных подводных аппаратов хорошо согласуется с общепринятыми в океанографии методами, которые отработаны и используются в практических экспериментах. Кроме того, при изучении мелкомасштабной турбулентности, подводные аппараты позволяют обеспечить детальность съемки и точность ее привязки, недоступные для существующих средств [21].

По результатам натурных экспериментов исследования естественной фоновой турбулентности и эволюции ТСС ПЛ и НК, с использованием МГД ПИП пульсаций скорости, были получены эмпирические зависимости горизонтального (поперечного) размера и интенсивности турбулентности, которые в последствие использованы ведущими отраслевыми научно-исследовательскими институтами для построения

гидродинамических моделей ТСС ПЛ и НК, а также даны рекомендации по обнаружению ПЛ вероятного противника, обеспечения скрытности ПЛ, управлению торпедой по сигналу ТСС НК.

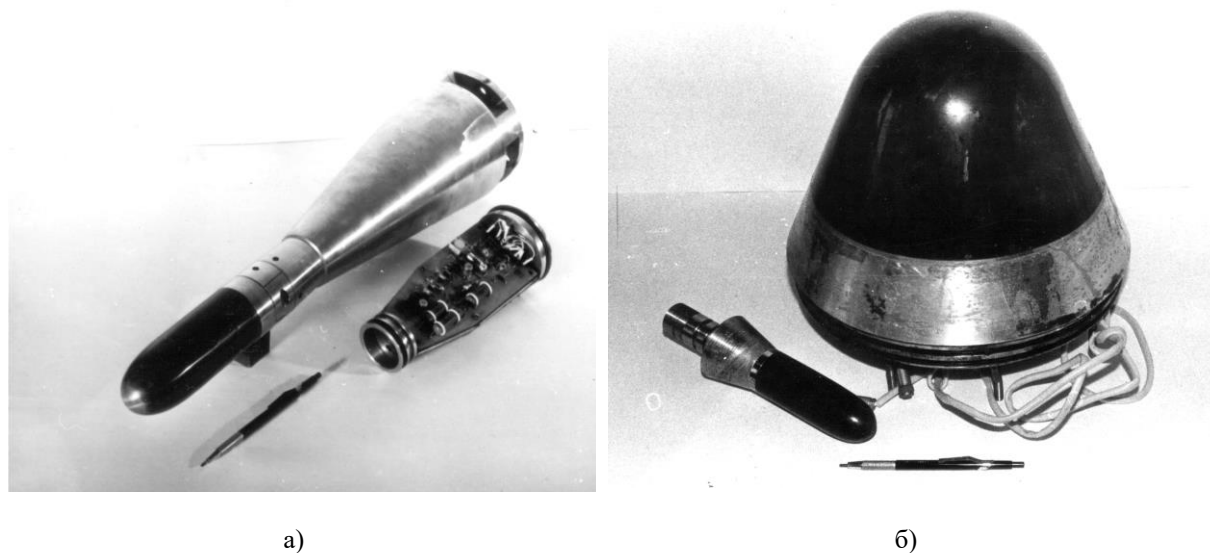


Рис. 5. Магнитогидродинамические измерительные преобразователи турбулентных пульсаций скорости

Как уже отмечалось выше, МГД ИП требуют первоначальной градуировки, которая может быть проведена как по образцовому измерителю пульсаций скорости с воспроизводимыми спектрами турбулентных пульсаций скорости, так и по воспроизведению нормированных регулярных пульсаций скорости, изменяющихся по гармоническому закону.

Градуировки МГД ПИП проводились в гидродинамической трубе замкнутого типа с большим рабочим участком – большая кавитационная труба ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, а также в гидростенде ГДС 20/0,06 ДонНУ, представляющем собой установку с затопленной струей. Труба обеспечивала поток воды в круглом рабочем участке диаметром 400 мм в диапазоне скоростей 1 – 6 м/с при степени турбулентности порядка 1%. В качестве образцового измерителя пульсационной скорости использовался термоанемометр с клиновым пленочным преобразователем. В гидродинамическом стенде рабочей частью является струя диаметром 60 мм. Скорость потока в стенде может регулироваться в пределах 0,5 – 20 м/с. В зависимости от расстояния до среза сопла степень турбулентности для этих скоростей изменяется от 0,4 до 2%. Стенд был аттестован ВНИИМ им. Д.И. Менделеева по осредненным и пульсационным скоростям с помощью термоанемометра с клиновым пленочным преобразователем.

Подробно методика градуировки и результаты исследований изложены в работе [22].

Необходимо отметить, что существует целый ряд научных и прикладных задач, например, таких как, исследование перемежаемости естественной океанической турбулентности с определением функции перемежаемости, обнаружение и распознавание ТСС на уровне фоновой турбулентности [15, 16], где использование полученной текущей информации определяется эффективностью достижения целевого назначения. Здесь определяющим фактором выступает отношение двух статистик – зон

повышенной турбулентности (турбулентного «пятна», следа) и естественной, фоновой турбулентности. Отсутствие градуировки у преобразователя для решения этих задач не является значимым. Примером такого преобразователя является большой датчик, рис.5б. Понятно, что провести его градуировку в вышеуказанных установках не представляется возможным вследствие его габаритов. Такой преобразователь является индикатором или «детектором» турбулентности. Его отличительная особенность – сильное магнитное поле в рабочей области и, как следствие, высокий коэффициент преобразования и повышенная чувствительность.

Заключение. Электромагнитные измерительные преобразователи имеют широкое применение для измерения скорости, турбулентных пульсаций скорости, расхода электропроводящих жидкостей. Они (ЭМИ) обладают высокой чувствительностью, точностью, широким диапазоном измерений, устойчивостью к условиям применения и эксплуатации. Новые принципы и конструктивные решения, заложенные в разработках ЭМИ, наличие прикладного программного обеспечения, полная автономность и дистанционная передача результатов измерений позволяют открыть перед ними еще более широкие перспективы применения.

На основе МГД измерителей турбулентных пульсаций скорости были созданы измерительно-информационные комплексы для исследования океанической турбулентности, турбулентного спутного следа подводной лодки с целью обнаружения ПЛ вероятного противника и обеспечения скрытности собственных ПЛ, а также была доказана возможность управления торпедой-лабораторией по апостериори известным статистическим характеристикам турбулентных образований. Кроме того, по заказу НИИ Арктики и Антарктики был разработан зондирующий измерительный комплекс, в состав которого входил двухкомпонентный МГД ПИП пульсаций скорости для изучения тонкой термохалинной структуры верхнего подледного слоя вод Полярного бассейна. Его испытания проводились в экспедициях на научно-исследовательских дрейфующих станциях «Северный полюс – 26» в 1984-1985 г.г., «Северный полюс – 30» в 1988-1989 гг.

В настоящее время эти разработки используются в проектах прикладных исследований: «Разработка программно-аппаратных комплексов мониторинга состояния природных и техногенных пространственно распределенных водных объектов» и «Разработка информационно-аналитических систем управления жизнеобеспечением городов, городским хозяйством и состоянием окружающей среды».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коптев В. С. Обзор состояния и перспективы развития электромагнитных расходомеров и теплосчетчиков / В. С. Коптев, А. В. Прохоров, Г. И. Сычев. – Текст : электронный // Тепловизор : [сайт]. – URL: <http://www.teplovizor.ru/myarticles/article.php?storyid=1> (дата обращения: 18.05.2020).
2. Ганьшин Ю. А. Методическое обеспечение и средства электромагнитного контроля составляющих скорости жидких полупроводящих сред : специальность 05.11.13 «Приборы и методы контроля природной среды» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ганьшин Юрий Анатольевич ; Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения. – Санкт-Петербург, 2011. – 22 с.
3. Дунаевский И. Г. Исследование и разработка МГД-измерителей пульсаций скорости турбулентных потоков жидкости : специальность 01.02.05 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Дунаевский Игорь Григорьевич. – Ленинград, 1979. – 170 с.
4. Силенко Е. М. Использование магнитогидродинамического метода в измерителях поля скорости потока жидкости / Е. М. Силенко, В. Г. Чеплюков // Физическая гидродинамика : сборник научных трудов. – Донецк : ДонГУ, 1990. – С. 93-98.

5. Велигурский А. М. Электромагнитные измерители средней скорости потока / А. М. Велигурский, В. А. Горячев, А. Г. Славный // Физическая гидродинамика : сборник научных трудов. – Донецк : ДонГУ, 1990. – С. 99-105.
6. Патент № 42366 А Украина, МПК G01F 15/00. Преобразователь магнитного расходомера : № 2001010667 : опубл. 15.10.2001 / Лихачев А. Н. – 6 с.
7. Коптев В. С. Керамика в электромагнитной расходомерии / В. С. Коптев, А. В. Прохоров, Е. Н. Демин. – Текст: электронный // Тепловизор : [сайт]. – URL: <http://www.teplovizor.ru/myarticles/article.php?storyid=10> (дата обращения: 18.05.2020).
8. Патент № 2399059 Российская Федерация, МПК G01P 5/08. Двухкомпонентный датчик измерителя скорости электропроводящей жидкости : заявл. 07.04.2009 : опубл. 10.09.2010 / Ганьшин Ю. А., Лавров В. Я. – 6 с.
9. Патент № 2133038 Российская Федерация, МПК G01P 5/08. Электромагнитный измеритель скорости водного потока : заявл. 10.07.97 : опубл. 10.07.1999 / Дунец А. В., Косьян Р. Д., Подымов И. С. – 13 с.
10. А.с. № 1144057 СССР, МКИ G01P 5/08. Устройство для измерения пульсаций скорости потока электропроводной жидкости : № 3689986/24-10 : заявл. 06.01.84 : опубл. 06.01.85/ Силенко Е. М., Бодня А. С., Яковенко В. В. – Бюл. № 9. – С. 161.
11. Патент № 100281 Российская Федерация, МПК G01P 5/08. Трехкомпонентный датчик измерителя скорости электропроводящей жидкости : 2010127362/28//2010 / Ганьшин Ю. А., Лавров В. Я. – 7 с.
12. Цифровой электромагнитный измеритель расхода жидкости / В. Е. Силенко, Е. М. Силенко, С. Е. Силенко [и др.] // Современные проблемы физико-математического образования : сборник материалов VI Международной заочной научно-практической конференции, Орехово-Зуево, 12-13 декабря 2016 г. – Орехово-Зуево : Гос. гуманитар.-технол. ун-т, 2016. – С. 61-64.
13. Двухкомпонентный электромагнитный первичный измерительный преобразователь скорости электропроводящей жидкости / В. Е. Силенко, Е. М. Силенко, С. Е. Силенко [и др.] // Современные проблемы физико-математического образования : сборник материалов VII Международной заочной научно-практической конференции, Орехово-Зуево, 12 декабря 2017 г. – Орехово-Зуево : Гос. гуманитар.-технол. ун-т, 2017. – С. 88-91.
14. Монин А. С. Океанская турбулентность / А. С. Монин, Р. В. Озмидов. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1981. – 320 с.
15. Болонов Н. И. Особенности методики проведения натурных исследований турбулентного спутного следа подводной лодки / Н. И. Болонов, В. Г. Чеплюков // Повховские научные чтения : труды Второго международного научно-практического семинара / под общей редакцией А. Б. Ступина. – Донецк : ДонНУ, 2012. – С. 294-300.
16. Прикладные аспекты явления перемежаемости / Н. И. Болонов, Е. М. Силенко, С. Е. Силенко, В. Е. Силенко // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2019. – № 3. – С. 4-13.
17. А.с. №773496 СССР, МКИ G01P 5/08. Устройство для измерения пульсаций скорости потока электропроводной жидкости : № 2753809/18-10 : заявл. 12.04.79 : опубл. 23.10.80 / Василевский В. В., Голубев Ю. Е. – Бюл. № 39.
18. А.с. №1239604, МКИ G01P 5/08. Устройство для измерения параметров турбулентного потока жидкости : № 3547764/18-10 : заявл. 04.02.83 : опубл. 23.06.86 / Повх И. Л., Аржанников А. В., Цвикевич В. А. и др. – Бюл. №23.
19. Коренев В. Д. Разработка и исследование МГД-измерителей вектора пульсаций скорости потоков жидкости : специальность 05.11.01 : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук ; ВНИИ физико-технических и радиотехнических измерений. – Москва, 1989. – 25 с.
20. Дунаевский И. Г. Аппаратурные средства для исследования мелкомасштабных океанических явлений / И. Г. Дунаевский, А. Г. Славный // Физическая гидродинамика : сборник научных трудов. – Донецк : ДонНУ, 1990. – С. 86-93.
21. Автоматические подводные аппараты / М. Д. Агеев, Б. А. Касаткин, Л. В. Киселев [и др.]. – Ленинград : Судостроение, 1981. – 224 с.
22. Методика и результаты исследования кондукционных измерительных преобразователей / И. Г. Дунаевский, Б. Н. Коротков, И. Л. Повх, В. Г. Чеплюков // Магнитная гидродинамика. – 1977. – № 2. – С. 119-123.

Поступила в редакцию 07.09.2020 г.

**ELECTROMAGNETIC MEASURING TRANSDUCERS OF FLUID FLOW
VELOCITY - RESULTS OF RESEARCH AND DEVELOPMENT**

Romanchyk S.M., Silenko E.M., Silenko S.E., Kazakova V.E.

Various modifications of the designs of the developed electromagnetic measuring transducers of the fluid flow velocity were considered. On their basis, measuring and information systems have been created, which are used in various applied and scientific research.

Keywords: electromagnetic measuring transducers, fluid flow velocity, turbulent velocity pulsations, turbulent wake, graduation, hydrodynamic pipe, thermoanemometer.

Романчук Сергей Михайлович

кандидат технических наук, старший научный сотрудник ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
ДНР, г. Донецк.

Romanchyk Sergey Mihaylovich

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Donetsk National University,
DPR, Donetsk.

Силенко Евгений Михайлович

кандидат технических наук, старший научный сотрудник ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
ДНР, г. Донецк.
E-Mail: turbdon@mail.ru

Silenko Evgeniy Mihaylovich

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Donetsk National University,
DPR, Donetsk.

Силенко Сергей Евгеньевич

ведущий инженер ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
ДНР, г. Донецк.

Silenko Sergey Evgenyevich

Lead Engineer of Donetsk National University,
DPR, Donetsk.

Казакова Виктория Евгеньевна

кандидат физико-математических наук, старший преподаватель ГОУ ВО МО «Государственный гуманитарно-технологический университет»,
Российская Федерация, Московская обл.,
г. Орехово-Зуево.

Kazakova Victoria Evgenyevna

Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Senior Lecturer of Moscow Regional Institution of Higher Education "University for Humanities and Technologies", Russian Federation, Moscow region, Orekhovo-Zuevo.

УДК 621.38

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗОНТИЧНОЙ АНТЕННЫ С ПОМОЩЬЮ FEKO

© 2020 Давыдов А.Г., Курушин А.А.

Выполнены расчет зонтичной антенны с оттяжками, расположенной на земляной поверхности, и предназначенной для создания загоризонтной РЛС. С помощью программы электродинамического моделирования FEKO получены оптимальные длины оттяжек, условия согласования антенны с генератором, КПД антенны и его зависимость от проводимости грунта. Выполнен расчет распределения напряжения между оттяжками антенны и землей.

Ключевые слова: Загоризонтная РЛС, зонтичная антенна, согласование, коэффициент полезного действия, FEKO.

Введение. Антенну высотой 100 м, работающую на частоте 100 кГц можно считать сверхмалой антенной, поскольку её длина по отношению к длине волны составляет 0.03λ . Входное сопротивление такой антенны очень маленькое, что приводит к уменьшению КПД и усложнению согласования антенной системы с генератором.

В антенне, созданной на практике из труб и перемычек между ними, главным являются продольные токи, поэтому такие антенны удобно анализировать в программе FEKO [1], используя модель в виде отдельных проводов. Антенна для загоризонтной РЛС состоит из вертикальных проводов и оттяжек. В результате моделирования необходимо определить оптимальное число оттяжек, длину каждой оттяжки и рассчитать электродинамические характеристики такой антенны: диаграмму направленности и входной импеданс антенны на рабочей частоте.

Для анализа эффективности функционирования антенны, и оценки её предельно возможных характеристик, целесообразно рассмотреть упрощенную модель. Например, если рассмотреть простейшую систему, состоящую из вертикальной мачты высотой 100 м, расположенной на бесконечной горизонтальной идеально проводящей плоскости, то в такой мачте ток распределен по линейному закону (рис. 1).

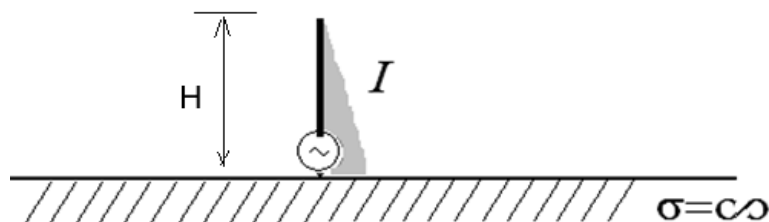


Рис. 1. Вертикальный вибратор над бесконечной плоскостью (показано распределение тока вдоль вертикального провода)

Для оценки излучающей способности антенны используется понятие сопротивления излучения. Для расчета сопротивления излучения вертикального вибратора на низких частотах служит приближенная формула [2]:

$$R_{изл} = 40\pi^2 \left(\frac{H}{\lambda} \right)^2, \quad (1)$$

где H - высота мачты. На частоте 100 кГц (длина волны $\lambda = 3000$ м) формула (1) дает для антенны высотой 100м значение $R_{изл} = 0.439$ Ом.

Сопротивление излучения увеличивается, если изменить распределение тока, делая его более равномерным вдоль антенны: при постоянном токе вдоль антенны (рис. 2) вместо формулы (1) справедливо соотношение:

$$R_{изл} = 40\pi^2 \left(\frac{2H}{\lambda} \right)^2. \quad (2)$$

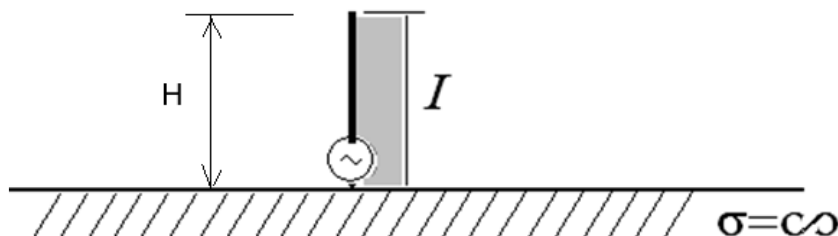


Рис. 2. Вертикальный вибратор с постоянным распределением тока над бесконечной плоскостью

На частоте 100 кГц формула (2) дает $R_{изл} = 1.775$ Ом.

На практике к распределению, показанному на рис.2, можно только стремиться – это предельно возможное значение.

Распределение тока вдоль мачты, показанной на рис. 3, можно сделать более равномерным, снабдив её насадкой на верхнем конце (системой оттяжек), имеющей как можно большую емкость относительно земли.

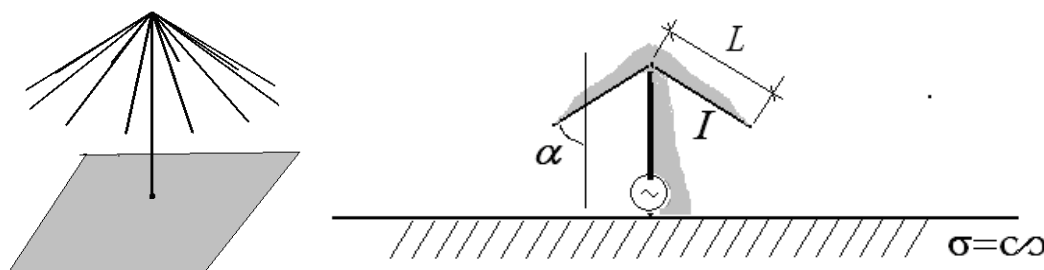


Рис. 3. Схема зонтичной антенны с наклонными оттяжками

С увеличением длины проводов L (рис.3) растет ёмкость насадки; при достаточном увеличении длины можно приблизиться к значению входного сопротивления антенны 1.775 Ом .

Когда провода оттяжек расположены наклонно, в системе появляется вертикальная составляющая токов, направленных противоположно токам в мачте. Их излучение частично компенсирует излучение токов в мачте. Расчеты показывают, что из-за этой причины с увеличением длины проводов L , сопротивление излучения всей конструкции вначале растет, но затем этот рост замедляется и с некоторого значения L сопротивление излучения начинает падать.

Расчет входного импеданса антенны с оттяжками, стоящей на земляной поверхности с идеальной проводимостью. Конструкция анализируемой антенны состоит из вертикальной части высотой 100 м и 18 оттяжек, идущих под углом 55° . Для черчения и моделирования в FEKO используем провод (а не цилиндр). Такой подход выделяет главное – длину антенны. А диаметр провода, и даже сечение ствола антенны менее влияют на характеристики антенны.

Антенна стоит над землей, которую сначала зададим как идеально проводящую плоскость (рис. 4). Внизу под антенной растягиваются земляные оттяжки, по количеству оттяжек, на высоте 0.01 м над земляной плоскостью.

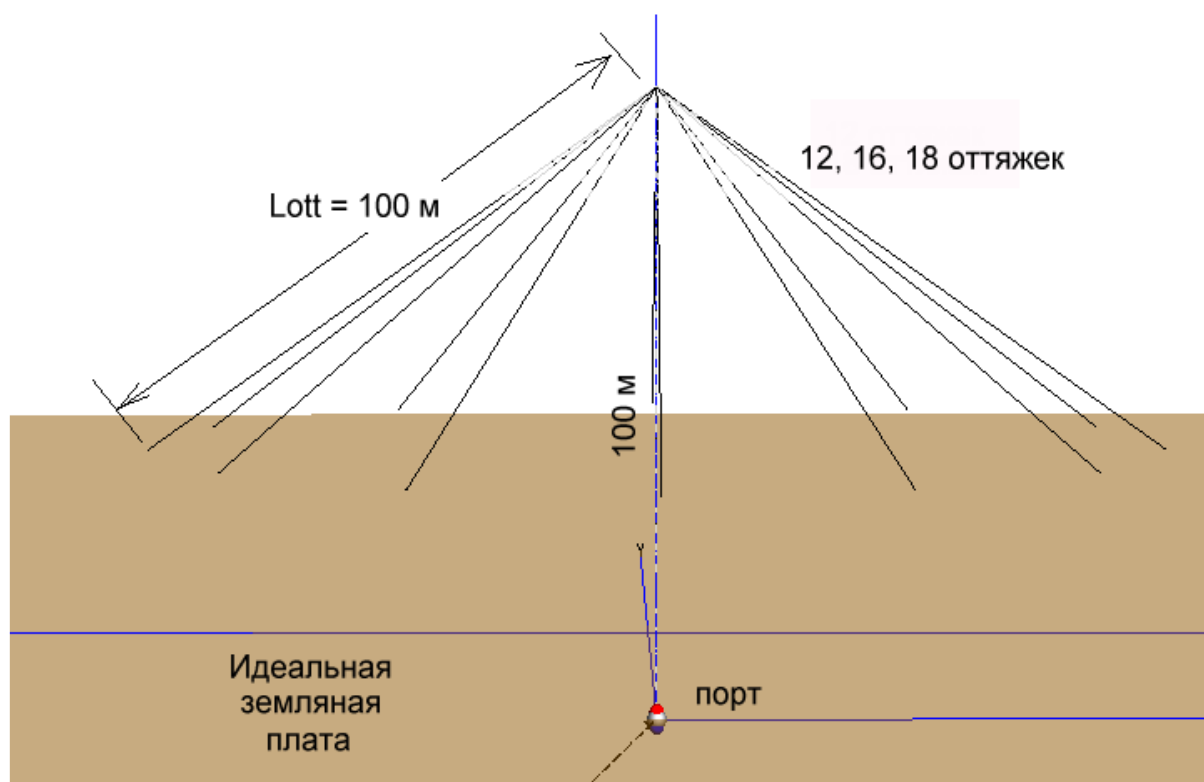


Рис. 4. Модель антенны с оттяжками в FEKO

Пусть длина оттяжек $L_{отт}$ будет переменной и равна 30 м , 40 м , 50 м , 60 м , 80 м и 100 м . Рассчитаем входной импеданс в зависимости от длины оттяжек (рис. 5).

Из рис. 5 видно, что при длине оттяжек 40 м , реальная часть входного импеданса принимает максимальное значение на всех частотах. Зависимость реактивной составляющей входного сопротивления антенны имеет емкостной характер в диапазоне частот от 70 кГц до 130 кГц .

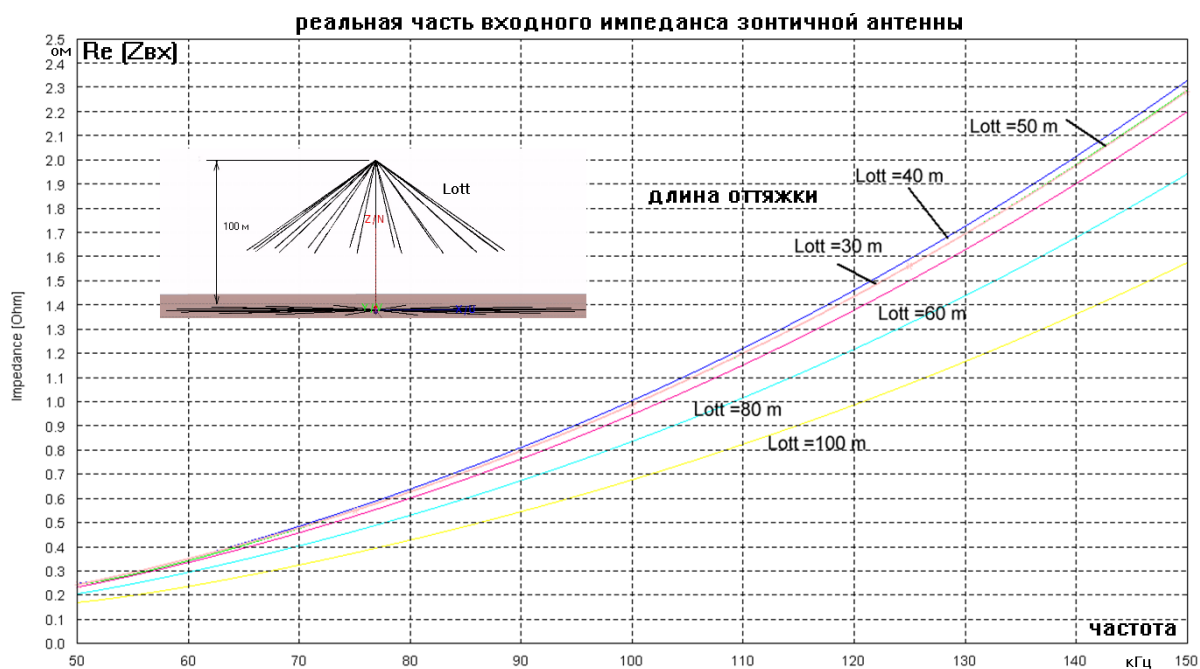


Рис. 5. Частотные характеристики антенны-зонтик для разных длин оттяжек

Используя рассчитанное значение реактивной составляющей входного импеданса (значение $X=400$ Ом на частоте 100 кГц), получим эквивалентную емкость антенны по формуле:

$$C = \frac{1}{2\pi f X} = \frac{1}{6.28 \cdot 1 \cdot 10^5 \cdot 400} = 4006 \text{ [пФ]}. \quad (3)$$

Если это так, то индуктивность приемника, которую нужно поставить последовательно с антенной для компенсации реактивной части, можно рассчитать по формуле:

$$L = \frac{X}{2\pi f} = 400 / 6.28 / 1 \cdot 10^5 = 6400 \text{ [нГ]}. \quad (4)$$

В реальных конструкциях эта индуктивность называется удлиняющей катушкой и реализуется в виде катушки на сердечнике, поскольку подобные антенны работают при высоких напряжениях.

Расчет КПД антенны. Распространение электромагнитного поля, излучаемого антенной, сопровождается тепловыми потерями в металлической мачтовой конструкции, потерями за счет конечной проводимости грунта (земли) и тепловыми потерями в катушке, включенной последовательно с антенной для придания ей резонансных свойств. При полной компенсации реактивной части входного сопротивления мачтовой конструкции реактивностью катушки и равенстве сопротивления генератора активному сопротивлению мачтовой конструкции подводимая мощность P_n чисто активна, и для неё можно записать[3]:

$$P_n = P_{изл} + P_{зем} + P_{мет} + P_{кат}, \quad (5)$$

где:

$P_{изл}$ - мощность, отбираемая на излучение в верхнее полупространство,

$P_{мет}$ - мощность потерь в металле мачтовой конструкции,

$P_{зем}$ - мощность потерь в земле,

$P_{кат}$ - мощность тепловых потерь в катушке.

Под КПД антенны будем понимать отношение излученной в верхнее полупространство мощности к полной мощности, подводимой к антенне:

$$\eta = \frac{P_{изл}}{P_{изл} + P_{зем} + P_{мет} + P_{кат}}. \quad (6)$$

Учитывая соотношения между мощностями, можно записать:

$$\eta = \frac{R_{изл}}{R_{\Sigma}} = \frac{R_{изл}}{R_{изл} + R_{зем} + R_{мет} + R_{кат}}, \quad (7)$$

где:

R_{Σ} - активная часть входного сопротивления антенны,

$R_{изл}$ - сопротивление излучения антенны,

$R_{мет}$ - эквивалентное сопротивление в металлических конструкциях,

$R_{зем}$ - эквивалентное сопротивление потерь в земле,

$R_{кат}$ - активная часть эквивалентного сопротивления катушки, учитывающая джоулевы потери в её проводнике и окружающих конструкциях.

Таким образом, эффективность антенны определяется соотношением сопротивления излучения и суммы других составляющих, вносящих вклад во входное сопротивление.

Расчет КПД и сопротивления излучения антенны. Коэффициент полезного действия антенны равен отношению мощности, которая поглощается в дальнем поле (полезная часть), к мощности, которая поглощается антенной полностью [2]:

$$\text{КПД} = R_{изл} / R_{вх}. \quad (8)$$

Сопротивление излучения равно:

$$R_{изл} = 2 * P_{изл} * (X_{вх}^2 + R_{вх}^2). \quad (9)$$

Это выражение находится следующим образом:

$$P_{изл} = I^2 * R_{изл}, \quad (10)$$

$$\text{отсюда } R_{изл} = P / I^2,$$

а ток определяется через источник напряжения:

$$I = \frac{\left(\frac{U}{\sqrt{2}}\right)^2}{|Z|^2}. \quad (11)$$

Напряжение $U=1$ В и задается при запуске FEKO на расчет.

КПД (выражение (8)) учитывает и рассогласование антенны, в виде **КСВ** между антенной и передатчиком. Приведем фрагмент файла *.out (рис. 6), из программы FEKO, в котором приводятся данные о мощности и потерях мощности в антенной системе.

```
The directivity/gain is based on an active power of 7.45371E-02 W
and on a power loss of 6.12429E-02 W

Integration of the normal component of the Poynting vector in the angular
grid DTHETA = 2.00 deg. and DPHI = 5.00 deg. ( 3358 sample points)
angular range THETA angular range PHI radiated power
-1.00 .. 91.00 deg. -2.50 .. 362.50 deg. 1.04406E-02 Watt
0.00 .. 90.00 deg. 0.00 .. 360.00 deg. 1.02976E-02 Watt
Polarisation dependent radiated power:
horizontal polarisation: 5.27546E-15 Watt ( 0.00 %)
vertical polarisation: 1.02976E-02 Watt (100.00 %)
S polarisation: 5.14880E-03 Watt ( 50.00 %)
Z polarisation: 5.14880E-03 Watt ( 50.00 %)
left hand circular pol.: 5.14880E-03 Watt ( 50.00 %)
right hand circular pol.: 5.14880E-03 Watt ( 50.00 %)
```

Рис. 6. Фрагмент из файла *.out программы FEKO, в котором приводятся рассчитанные интегральные поля, поглощенные в верхней полуплоскости

Из таблицы рис. 6 можно видеть, что интегральная мощность ЭМ поля с вертикальной поляризацией равна 0.0103 Вт, активная мощность на антенне 0.0745 Вт, а мощность потерь 0.0612 Вт. По этим данным и формулам (8-10) рассчитывается КПД антенны в диапазоне частот, приведенные в таблице **Excel** (табл. 1).

Таблица 1. Частотные характеристики параметров антенны

2,5											s=10-3	s=10-1	s=1	s=10-4	s=10-2
S	R	X	P	Rr	ZN	ReS11	ImS11	1-s11*s11	Rr/R	полный к.п.д.					
9,50E+01	5,644	-28,9	2,17E-04	3,75E-01	9,65E+02	8,67E-01	3,38E-01	1,35E-01	6,65E-02	8,97E-03	1,59E-02	1,64E-02	2,56E-03	1,50E-02	
9,60E+01	5,667	-22,93	3,43E-04	3,83E-01	6,57E+02	8,03E-01	3,96E-01	1,99E-01	6,75E-02	1,34E-02	2,39E-02	2,46E-02	3,84E-03	2,24E-02	
9,70E+01	5,691	-17,03	6,05E-04	3,90E-01	4,21E+02	6,90E-01	4,60E-01	3,12E-01	6,86E-02	2,14E-02	3,79E-02	3,90E-02	6,11E-03	3,56E-02	
9,80E+01	5,714	-11,19	1,26E-03	3,98E-01	2,57E+02	4,90E-01	4,97E-01	5,13E-01	6,96E-02	3,57E-02	6,34E-02	6,52E-02	1,02E-02	5,95E-02	
9,90E+01	5,74	-5,4	3,26E-03	4,05E-01	1,62E+02	1,82E-01	3,84E-01	8,20E-01	7,06E-02	5,78E-02	1,03E-01	1,06E-01	1,65E-02	9,64E-02	
1,00E+02	5,768	0	6,19E-03	4,12E-01	1,33E+02	0,00E+00	0,00E+00	1,00E+00	7,14E-02	7,14E-02	1,27E-01	1,30E-01	2,04E-02	1,19E-01	
1,01E+02	5,792	5,985	3,03E-03	4,21E-01	1,69E+02	2,10E-01	-4,09E-01	7,89E-01	7,27E-02	5,73E-02	1,02E-01	1,05E-01	1,64E-02	9,55E-02	
1,02E+02	5,816	11,6	1,27E-03	4,29E-01	2,69E+02	4,99E-01	-5,02E-01	4,99E-01	7,37E-02	3,68E-02	6,53E-02	6,72E-02	1,05E-02	6,13E-02	
1,03E+02	5,84	17,16	6,64E-04	4,37E-01	4,29E+02	6,84E-01	-4,67E-01	3,14E-01	7,48E-02	2,35E-02	4,17E-02	4,29E-02	6,71E-03	3,91E-02	
1,04E+02	5,865	22,67	4,05E-04	4,45E-01	6,49E+02	7,90E-01	-4,10E-01	2,08E-01	7,58E-02	1,58E-02	2,80E-02	2,89E-02	4,51E-03	2,63E-02	
1,05E+02	5,89	28,13	2,74E-04	4,53E-01	9,27E+02	8,52E-01	-3,57E-01	1,47E-01	7,68E-02	1,13E-02	2,00E-02	2,06E-02	3,22E-03	1,88E-02	

Как следует из данных табл. 1, на центральной частоте 100 кГц реальное сопротивление входного импеданса равно $R=5.768$ Ом.

Пусть передатчик согласован с антенной ($X=0$) и имеет импеданс, равный $R=5.768$ Ом. Тогда, в соответствии с табл. 1, на этой частоте величина $S_{11}=0$, а на других частотах имеет место рассогласование. На частоте 100 кГц получаем (табл. 2):

Таблица 2. Характеристики зонтичной антенны на частоте 100 кГц

$R_{вх}$	$X_{вх}$	$P_{изл}$ (power loss в файле*.out)	$R_{изл}$
5.768	0	$6.19 \cdot 10^{-3} \text{ Вт}$	0.412 Ом

В соответствии с формулой (8) получаем КПД=7.14 %.

Учет влияния проводимости грунта. Свойства грунта (земли) могут значительно изменить значения сопротивления излучения конструкции, показанной на рис.4, причем это изменение существенно зависит от свойств грунта.

В табл.3 приведены значения проводимости и относительной диэлектрической проницаемости различных грунтов, взятые из [3].

Таблица 3. Значения проводимости и относительной диэлектрической проницаемости различных грунтов

Вид поверхности	σ_3 , Сим/м	ϵ
Сухие почвы и мерзлые грунты	10^{-4}	3
Пески с влажностью около 20%	10^{-3}	5
Глины с влажностью около 40%	10^{-2}	7
Суглинки с влажностью около 60 %	$5 \cdot 10^{-2}$	11

Как видно, проводимость грунтов может на практике меняться в широких пределах: от $\sigma_3 = 10^{-4}$ до $\sigma_3 = 5 \cdot 10^{-2}$ Сим/м. Рассмотрим влияние проводимости грунта на входное сопротивление и сопротивление излучения антенны.

На рис. 7 показаны результаты расчета с помощью FEKO на частоте 100 кГц зависимости действительной части входного импеданса антенны и сопротивления излучения её от значения σ_3 проводимости нижнего полупространства. По вертикальной оси отложено значение сопротивления в Омах, по горизонтальной – значение проводимости грунта σ_3 .

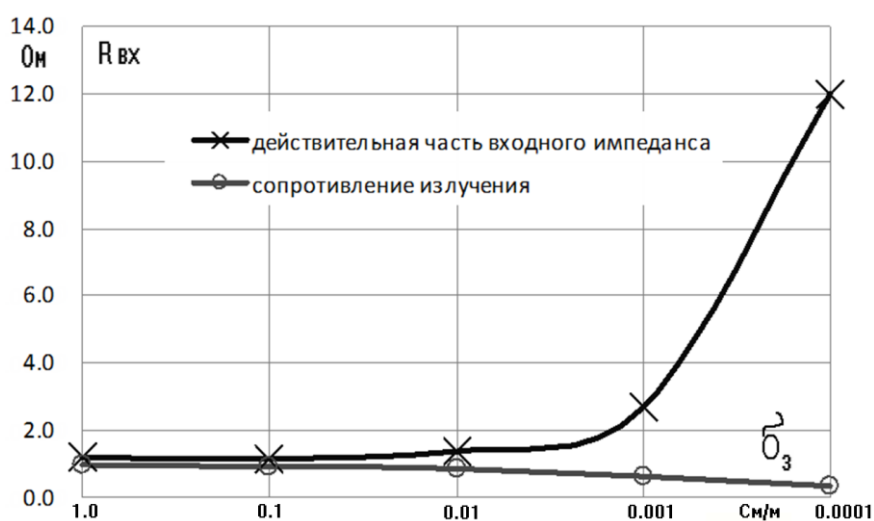


Рис. 7. Зависимости входного сопротивления и сопротивления излучения от проводимости грунта

Как видно из рис. 7, при относительно больших значениях σ_z входное сопротивление составляет около 0.95 Ом и близко к значениям сопротивления излучения, что говорит о небольших потерях в грунте в этом случае. Эта величина согласуется с максимальным значением сопротивления излучения, соответствующего антенне над идеально проводящей плоскостью (рис.5). С уменьшением σ_z входное сопротивление возрастает до 12 Ом, а сопротивление излучения падает до 0.36 Ом, что означает значительное увеличение потерь в грунте. Мнимая часть входного импеданса от проводимости грунта в исследованном случае зависела слабо и составляет около 600 Ом.

Можно показать, что потери в металлоконструкциях антенны приводят к заметному возрастанию входного сопротивления, но практически не отражаются на сопротивлении излучения. Отметим, что на достаточно влажных грунтах ($\sigma_z < 0,01$) потери в металлоконструкциях превышают потери в почве.

КПД антенны в зависимости от состояния грунта. Используя результаты

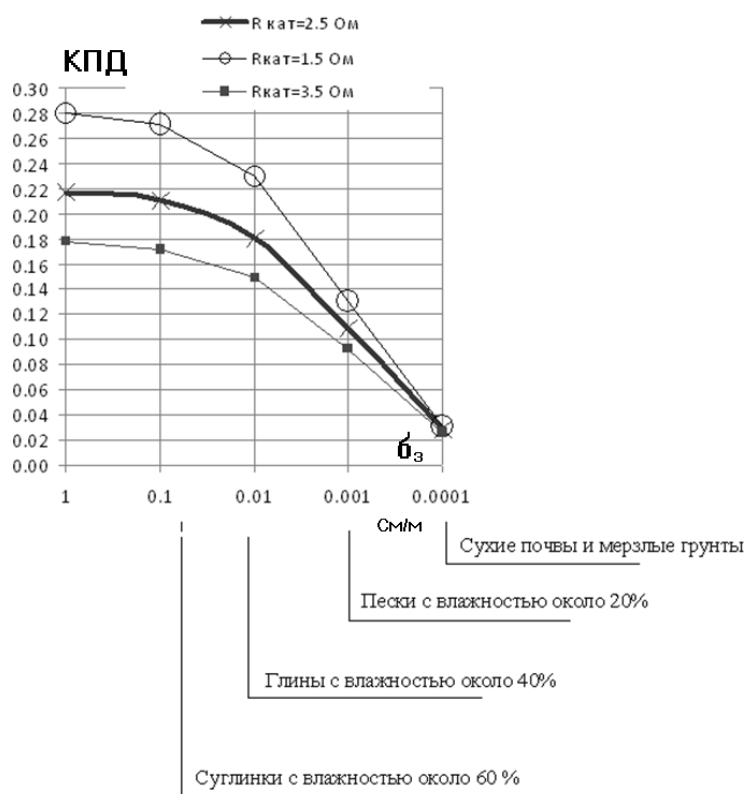


Рис. 8. Зависимость КПД зонтичной антенны от проводимости грунта

$= 1.5; 2.5$ и 3.5 Ом. Предполагается, что на этой частоте достигнуто идеальное согласование с передатчиком.

Как видно, при действительной части импеданса катушки 2.5 Ом КПД достигает 21,6 % для наиболее влажных грунтов. Например, для песков с влажностью 20% КПД составляет около 11%. Для мерзлых грунтов и совершенно сухих почв КПД антенны может упасть до 3%.

расчетов, учитывающих потери в почве и в металлоконструкциях антенны, с помощью соотношения (8) можно оценить коэффициент полезного действия антенной системы. Для того, чтобы воспользоваться соотношением (8), необходимо знать также активную часть $R_{кат}$ эквивалентного сопротивления катушки, (включенной последовательно с антенной для компенсации реактивной составляющей), учитывающую джоулевы потери в её проводнике. На рис.8 представлены результаты расчетов КПД на частоте 100 кГц для $R_{кат}$

Наиболее эффективна работа рассматриваемой антенны над очень влажной средой. Как указано в [4], проводимость морской воды составляет около 2 Сим/м, поэтому при работе над морской поверхностью **КПД** при действительной части импеданса катушки 2.5 Ом достиг бы 22%.

С ростом частоты действительная часть входного сопротивления растет, что обусловлено главным образом увеличением потерь в металле. Растет и сопротивление излучения, так как возрастает электрическая длина антенны. В результате отношение сопротивления излучения к действительной части входного импеданса, т.е. **КПД** с учетом только джоулевых потерь, при идеальном согласовании передатчика с антенной меняется слабо (рис.9).

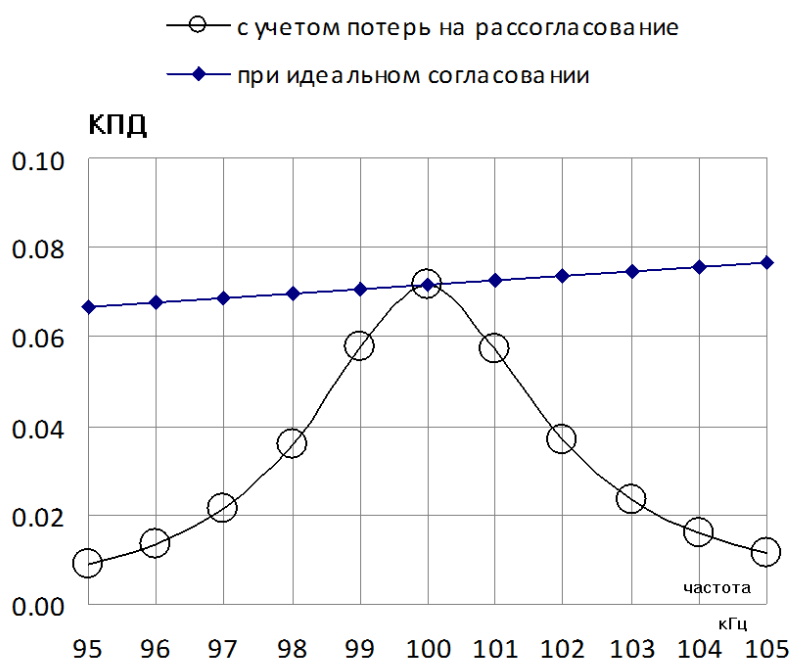


Рис. 9. Частотные зависимости КПД с учетом согласования и без него

Однако обычно идеальное согласование возможно только на одной – центральной – частоте. По мере отхода от этой частоты появляются потери на рассогласование, вызванные отражением части энергии от антенны. На рис.9 показано также значение **КПД** с учетом потерь на согласование. При расчете этой кривой предполагалось, что выходной импеданс тракта передатчика имеет независимую от частоты действительную часть, равную действительной части импеданса антенны на центральной частоте.

Поскольку антенна имеет емкостной характер входного импеданса, последовательно с ней ставится индуктивность, которая называется удлинительной катушкой. От её потерь зависит добротность и рабочая полоса антенны. Пусть на частоте 100 кГц реактивное сопротивление емкости 1000 пФ составляет -1000 Ом и пропорционально увеличивается при уменьшении емкости по сравнению с 1000 пФ. Соответственно для индуктивности катушки, увеличение её индуктивности на 1 мкГн дает потери около 1 Ом.

Может возникнуть вопрос, почему бы не найти индуктивность удлиняющей катушки, зная емкость антенны и используя формулу для обычного колебательного контура? Конечно, можно и так. Но расчет через реактивные сопротивления позволяет

оценить напряжение на антенне при заданном токе и сопротивление потерь удлинительной катушки при известной её добротности. Так, в приведенном примере сразу ясно, что напряжение на антенне будет порядка 2000 В на каждый ампер тока в антенне. Поскольку активная часть входного сопротивления антенны много меньше реактивной части, напряжение на антенне в вольтах приблизительно равно току антенны в амперах, умноженному на реактивное сопротивление антенны в омах. Сопротивление потерь катушки, ее реактивное сопротивление и добротность связаны простой формулой: $R_{\text{кат}} = X_L / Q$. При добротности $Q = 200$ сопротивление потерь будет $2000/200 = 10 \text{ Ом}$.

Напряжение на элементах конструкции. Расчет распределения напряжения на элементах антенны необходим, в частности, для решения вопросов, касающихся электрической прочности – выбора изоляторов и т.п.

Были проведены расчеты распределения напряжения относительно провода «звезды заземления» вдоль вертикальных линий. Эти линии проходят через «спицу зонтика», расположенную над проводом заземления, и отстоят от мачты на расстояние sA , где s – масштабный коэффициент, а A – длина горизонтальной проекции «спицы зонтика» (рис. 10). Методика заключается в том, что рассчитывается ближнее поле в точках вдоль вертикальной линии.

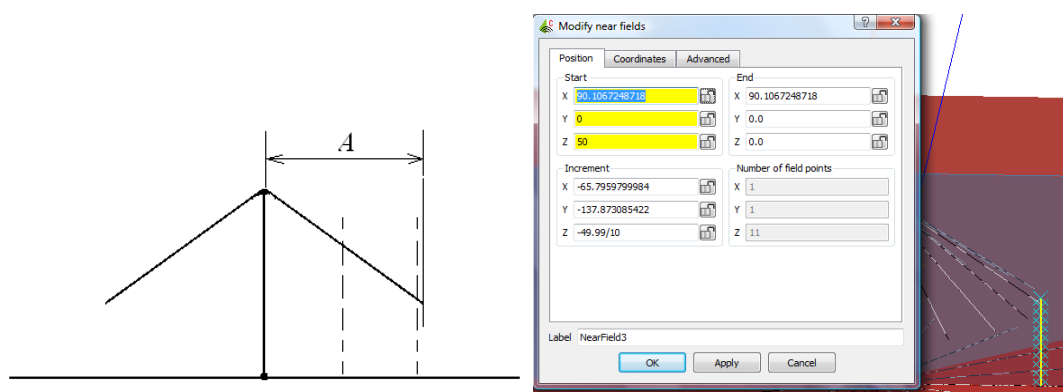


Рис. 10. К расчету напряжения между горизонтальной частью антенны и землей на расстоянии A

Это ближнее поле записывается программой ФЕКО в файл с расширениями ***.efe** (электрическая компонента) и ***.hfe** (магнитная компонента). Затем поле интегрируется вдоль линии с помощью программы Exel.

Результаты расчетов для отдалений от оси на $s=0.5$ и $s=0.98$, т.е. для двух линий (пунктир на рис. 10), одна из которых отстоит от мачты на половину расстояния A , а вторая проходит через «спицу зонтика» вблизи ее конца приведены на рис. 11. По вертикальной оси отложены значения отношения напряжения к ЭДС генератора, по горизонтальной оси – высота подъема точки наблюдения над проводом «звезды заземления».

Напряжение вблизи «спицы зонтика», в т. ч. вблизи её конца, может достигать значений порядка $40...65e$, где e – напряжение на выходе передатчика. Если исходить из того, что ток на выходе передатчика может достигать 550 А, то с учетом того, что входное сопротивление антенны при резонансе составляет около 4.5 Ом (на хорошо проводящих грунтах), напряжение вблизи «спицы зонтика» может достигать 60-70 кВ (рис. 11).

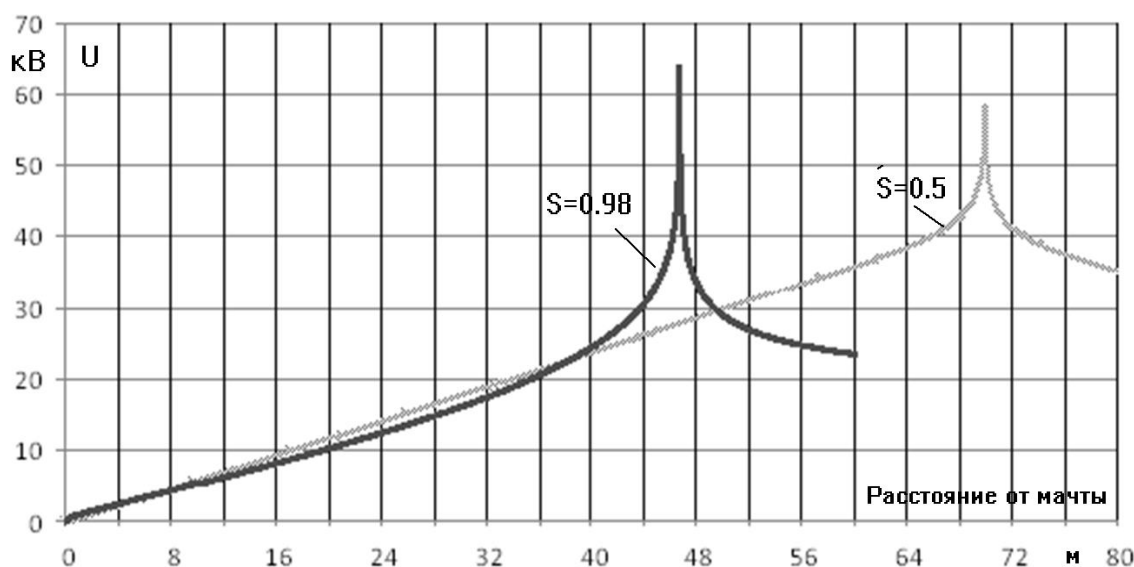


Рис. 11. Распределение напряжения между антенной и землей на различном расстоянии от мачты (горизонтальная ось в м) в двух вертикальных сечениях. По оси Y единицы в киловольтах

Исходными данными расчета напряжения является напряженность электрического поля вдоль линии. Эти данные можно вывести на график во время постпроцессорной обработки данных, в программе **POSTFEKO**, а также получить в файле.

Это рассчитанное поле в точках вдоль линии переносим в табличном виде в программу **Excel**, в которой выполняем интегрирование (суммирование произведения напряженности на размер ячейки), чтобы получить суммарное напряжение (рис. 11) между антенной и землей.

Выводы. Программа **FEKO** хорошо подходит для анализа излучающих структур, которые можно представить в виде проводов. Программа **FEKO** восходит к известным программам **MNAMA** и **NEC**, в которых излучающая структура полностью представлялась в виде проводов. В «тандеме» с **Excel**, программа **FEKO** позволяет решить задачу проектирования, расчета КПД и напряжений пробоя в СВЧ структурах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обзор Альтаира Феко TM // Altair : HyperWorks [сайт]. – URL: <http://www.feko.info>_(дата обращения: 20.05.2020). – Текст. Изображение : электронные.
2. Balanis C. A. Antenna Theory : Analysis and Design / C. A. Balanis. – 2nd Edition. – New York : Wiley & Sons, Inc., 1997. – 960 p.
3. Сазонов Д. М. Устройства СВЧ / Д. М. Сазонов, А. Н. Гридин, Б. А. Мишустин. – Москва : Высш. шк., 1981. – 295 с.
4. Баскаков С. И. Основы электродинамики / С. И. Баскаков. – Москва : Сов. радио, 1973. – 248 с.

Поступила в редакцию 05.09.2020 г.

MODELING OVER-HORIZON ANTENNA USING FEKO

Davydov A.G., Kurushin A.A.

The paper show step-by-step calculation of umbrella antenna, located on the ground surface, and designed to create an over-horizon radar antenna. With the help of the electrodynamic program FEKO, are obtained condition matching the antenna with the generator, calculate the efficiency of the antenna and its dependence on the ground conductivity. Also the calculation of the voltage distribution between the antenna braces and the ground is performed.

Keywords: Over-horizon radar, umbrella antenna, matching, efficiency, FEKO.

Давыдов Александр Георгиевич

кандидат технических наук, начальник
отдела АО «МКБ Компас»,
Российская Федерация, г. Москва.
E-mail: alexanderdavydov@yandex.ru

Davydov Alexander Georgievich

Candidate of Technical Sciences, Head of
Department design Antena, «МКБ Компас»,
Russian Federation, Moscow.

Курушин Александр Александрович

кандидат технических наук, старший научный
сотрудник, доцент кафедры радиотехнических
приборов и антенных систем ФГБОУ ВО
«Национальный исследовательский университет
"Московский Энергетический Институт"»,
Российская Федерация, г. Москва.
E-mail: kurushin@mail.ru

Kurushin Aleksandr Aleksandrovich

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,
Associate Professor of Moscow Power Engineering
Institute,
Russian Federation, Moscow.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.056.5

ИССЛЕДОВАНИЕ УЯЗВИМОСТЕЙ АЛГОРИТМА ШИФРОВАНИЯ RSA

© 2020 *Бабичева М.В., Усачева А.С.*

В работе реализованы известные виды атак на систему шифрования RSA, представлены примеры с присутствием уязвимостей для данных атак и даны рекомендации в отношении устранения конкретных уязвимостей, для обеспечения стойкости криптосистемы. Разработаны лабораторные работы, для студентов, изучающих криптографию. По каждой атаке составлено подробное описание, подобраны примеры реализации, разработаны алгоритмы программной реализации атак и программы на языках Python 2.7.13 и Python 3.6.5, задания для лабораторных работ.

Ключевые слова: атаки на RSA, атака Хастада, атака Виннера, атака с общим модулем, атака повторным шифрованием, атака Коперсмита, атака на подпись в схеме с нотариусом.

Введение. Алгоритм шифрования RSA, одна из первых практических криптосистем с открытым ключом, которая широко используется и на сегодняшний день. Это асимметричная система шифрования с разными ключами для шифрования (открытый ключ) и дешифрования (закрытый ключ). Знание структуры и работы шифра может послужить базой для успешной атаки на него [1]. Некоторые атаки были реализованы и стали уже классическими. Они основаны на слабом выборе параметра или несоответствующей реализации. Однако разработчики, не обладая достаточными знаниями в криптографии, все еще используют этот алгоритм в самостоятельной реализации или в качестве готовых решений из библиотек. Задача осложняется тем, что не существует простых способов проверить надежность выбираемых параметров. Нужна серьезная математическая база и наличие определенного опыта. Использование RSA с выравниванием, рекомендуемое криптоаналитиками начиная с 2005 года, также небезопасно из-за найденных уязвимостей [2]. Целью цикла лабораторных работ, посвященных атакам на RSA является расширить понимание студентами принципов работы асимметричных криптосистем, и изучение последствий неправильного применения систем шифрования.

Постановка задачи. Необходимо разработать цикл лабораторных работ, с индивидуальными заданиями для реализации популярных и малоизвестных атак на шифр RSA, с указанием сути уязвимости и методов защиты. Подобрать или взять из литературы конкретные значения уязвимых параметров RSA для практической реализации атак студентами. Предложить алгоритмы для написания программ на языке Python и примеры программ для осуществления атак. Исследовать возможности выполнения программных реализаций атак в средах разработки Python 2.7.13 и Python 3.6.5, с использованием библиотеки Sage для научных расчетов. Разработать задания для тренировки команд-участников международных игр CTF. Поскольку мощности вычислительных ресурсов университетских лабораторий ограничены, для обработки больших данных по возможности использовать облачные вычисления [3].

Выбор атак для исследования. В результате анализа литературы, для реализации были отобраны следующие атаки на алгоритм RSA:

- атака Ферма (факторизация модуля);
- атака Хастарда (малые значения открытой экспоненты);
- атака Винера (малые значения закрытой экспоненты);
- атака с общим модулем (для двух перехваченных сообщений и для участника группы);
- атака повторным шифрованием (малые значения модуля и экспонент);
- атака Коперсмита (одинаковые старшие биты факторов модуля);
- атака на подпись в схеме с нотариусом (с созданием подписывающего сервера и атакующего скрипта);

Атака Ферма является классической для демонстрации того факта, что криптостойкость алгоритма RSA зависит от возможности факторизации модуля открытого ключа. Малые значения модуля, открытой и закрытой экспонент значительно уменьшают время шифрования и ресурсоемкость алгоритма и используются разработчиками для облегчения вычислений. Атака Коперсмита демонстрирует, что получение факторов для модуля с помощью генераторов случайных чисел не всегда является защитой от уязвимостей. Создание серверной реализации для атаки на подпись позволяет продемонстрировать уязвимости сетевого обмена.

Разработка лабораторного практикума. Поскольку в реальных системах открытые ключи передаются в зашифрованном виде в public.pem файлах, то для индивидуальных заданий были созданы такие файлы. Их необходимо было расшифровать на соответствующих ресурсах или утилитой openssl. На рисунке 1 представлен процесс расшифровки.

```
root@kali:~/share/vr_exch# file pubkey.pem
pubkey.pem: ASCII text
root@kali:~/share/vr_exch# cat pubkey.pem
-----BEGIN PUBLIC KEY-----
MGQwDQYJKoZIhvcNAQEBBQADUwAwUAAJAMLLsk/b+S02Emjj8Ro4lt5FdL06WHMM
vWUp0IZ0IiPu63BKF8/QjRa0aJGmFHR1mTnG5Jqv5/JZVUjHTB1/uNJM0Vyy00zQ
owIDAQAB
-----END PUBLIC KEY-----
root@kali:~/share/vr_exch# openssl rsa -pubin -inform PEM -text -noout < pubkey.pem
RSA Public-Key: (576 bit)
Modulus:
 00:c2:cb:b2:4f:db:f9:23:b6:12:68:e3:f1:1a:38:
 96:de:45:74:b3:ba:58:73:0c:bd:65:29:38:86:4e:
 22:23:ee:eb:70:4a:17:cf:d0:8d:16:b4:68:91:a6:
 14:74:75:99:39:c6:e4:9a:af:e7:f2:59:55:48:c7:
 4c:1d:7f:b8:d2:4c:d1:5c:b2:3b:4c:d0:a3
Exponent: 65537 (0x10001)
root@kali:~/share/vr_exch#
```

Рис. 1. Расшифровка публичного ключа из файла public.pem утилитой openssl

Характерной особенностью авторского подхода является широкое использование интернет ресурсов, например, подобрать параметры шифрования RSA предлагается на сайте <https://www.cs.drexel.edu/~jproyack/IntroCS/HW/RSASheet.html>, для факторизации модуля в реализации метода Ферма - воспользоваться интернет ресурсами <http://factordb.com> или <https://www.alpertron.com.ar/ECM.HTM>. Для работы с большими числами использовался облачный ресурс <https://sagecell.sagemath.org/>. На рисунке 2 представлен результат работы скрипта для реализации атаки Коперсмита на

данном сайте. Для нахождения обратного элемента в кольце по модулю наряду с программой, написанной на Python использовался ресурс <https://planetcalc.ru/3311/>. Для реализации атак необходимо использовать расширенный алгоритм Евклида для нахождения наибольшего общего делителя и коэффициентов разложения для уравнения:

$$e1 * a + e2 * b = 1,$$

где $e1$ и $e2$ открытые ключи участников обмена информацией (атака с общим модулем).

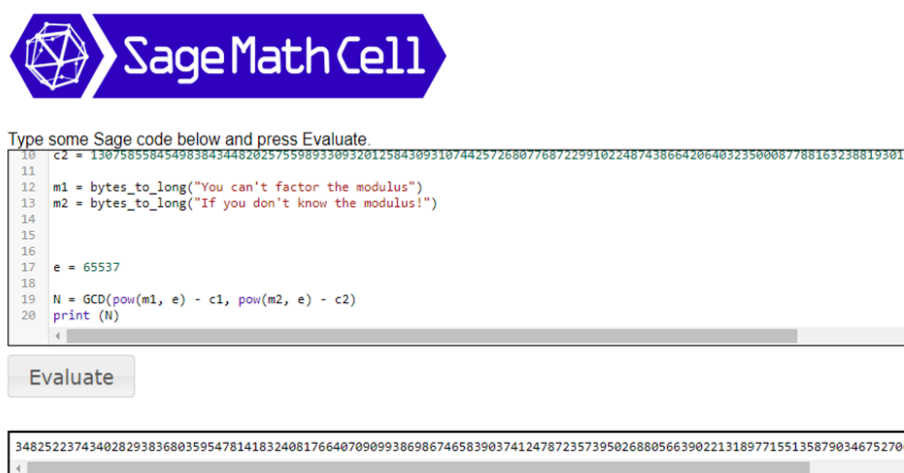


Рис. 2. Использование интернет ресурса для работы с большими числами

Было предложено несколько реализаций данного алгоритма и показано, что в процессе работы с большими числами рекурсионный алгоритм вызывает переполнение буфера, в то время как целочисленное деление с вычислением остатка работает с числами больше 64 знаков. Операторы $m^{1/3}$ или $\text{pow}(m, 1/3)$ для извлечения корня, также не работали с большими числами. Применялся алгоритм бинарного поиска, для извлечения корней любой степени, например, для атаки Хастарда. Выявилась еще одна проблема, связанная с большими числами: на языке Python 3.6 многие алгоритмы дают ошибку «переполнение типа float», поэтому часть вычислений пришлось проводить в среде Python 2.7 (рисунок 3).

```

===== RESTART: G:\Дипломы\RSA\Hastard.py =====
Traceback (most recent call last):
  File "G:\Дипломы\RSA\Hastard.py", line 62, in <module>
    flag=find_invpow(flag_cubed,3)
  File "G:\Дипломы\RSA\Hastard.py", line 51, in find_invpow
    if low < mid and mid**n < x:
OverflowError: (34, 'Result too large')
>>> |
===== RESTART: G:\Дипломы\RSA\HAS1.py =====
20863560893812018421008308373170195121326722587888905800029374114994964849842518
5001776
>>>

```

Рис. 3. Переполнение типа float в среде Python 3.6 и успешное вычисление закрытого ключа в среде Python 2.7 (атака Хастарда)

Результаты. В процессе работы было разработано 7 лабораторных работ. В каждой из них присутствовали математические основы атаки, пример проведения атаки с конкретными данными, варианты индивидуальных заданий для студентов в виде поиска флага, начинающегося с аббревиатуры *CTFdonnu*, которые студенты должны получить, осуществив атаку и сдав флаг преподавателю (Рисунок 4). В каждом методическом руководстве по определенной атаке были представлены способы защиты от данного вида атак. Поскольку в процессе применения скриптов Python были обнаружены сложности, которые испытывают студенты, при переводе текстовых данных в ASCII коды, бинарные, десятичные и шестнадцатеричные, этому вопросу было уделено особое внимание в руководствах по выполнению лабораторных работ.

```
Enter your message 3449934124305973203117265371261871598751383978407549185980709
26687813865764946016617300334300953531525744698697304698349132903573439570636160
43276441778983103080783207089288746130560178077818479582685449122754829888679342
19520816553575584169182163458918122719681404768471024509370723632337807169792689
659722
Your encrypted message is 598747286834268096634380760669094001177839430872808548
5756228172379260813493820023
Enter your message 1995824289447560322114602535563646670592798102909361828585409
390793086937831273341
You win, your flag is:
CTFdonnu{Do_not_sign_wrong_things}
```

Рис. 4. Получение флага в процессе осуществления атаки (атака на подпись в схеме с нотариусом)

Выводы. В ходе анализа особенностей шифра RSA были рассмотрены его уязвимости, на эксплуатацию которых были проведены атаки. Составлены задания для 7-ми лабораторных работ. Даны рекомендации в отношении устранения конкретных уязвимостей, для обеспечения стойкости криптосистемы. Данная работа планируется к внедрению в качестве лабораторного практикума по курсу «Криптография», для демонстрации принципа и метода атак на шифр RSA, расширения и закрепления знаний студентов в предметной области на кафедре «Радиофизики и инфокоммуникационных технологий» Донецкого национального университета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабенко Л.К., Ищукова Е.А. Анализ современных криптографических систем с помощью метода дифференциального криптоанализа // Актуальные аспекты защиты информации в Южном федеральном университете: монография. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011. – 181 с.
2. Churchhouse R. F. Codes and Ciphers : Julius Caesar, the Enigma and the Internet / Robert Churchhouse. – Cambridge University Press, 2004. – 252 p.
3. Кяжин С. Н. Криптография в облачных вычислениях. Современное состояние и актуальные задачи / С. Н. Кяжин, А. В. Моисеев // Безопасность информационных технологий. – 2013. – Т. 20, № 3. – С. 83-86.

Поступила в редакцию 08.06.2020 г.

A STUDY OF THE VULNERABILITIES OF THE ENCRYPTION ALGORITHM RSA

Babicheva M.V., Usachova A.S.

The work implements well-known types of attacks on the RSA encryption system, presents examples with the presence of vulnerabilities for these attacks, and gives recommendations regarding the elimination of specific vulnerabilities to ensure the strength of the cryptosystem. Laboratory work has been developed for students studying cryptography. For each attack, a detailed description has been compiled, examples of implementation have been selected, algorithms for the software implementation of attacks and programs in Python 2.7.13 and Python 3.6.5, and tasks for laboratory work have been developed.

Keywords: RSA attacks, Hastad attack, Winner attack, common module attack, re-encryption attack, Copersmith attack, signature attack in a notary scheme.

Бабичева Маргарита Вадимовна

ст. преподаватель кафедры радиофизики и
инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО
«Донецкий национальный университет»,
ДНР, Донецк.

E-mail: m.v.babicheva60@gmail.com

Babicheva Margarita Vadimovna

Senior Lecturer at Department of Radiophysics and
Infocommunication Technologies of Donetsk
National University,
DPR, Donetsk.

Усачева Анна Сергеевна

студент кафедры радиофизики и
инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО
«Донецкий национальный университет»,
ДНР, Донецк.

E-mail: anyusha388@gmail.com

Usachova Anna Sergeevna

Student at Department of Radiophysics and
Infocommunication Technologies of Donetsk
National University,
DPR, Donetsk.

УДК 343.522

ОСОБЕННОСТИ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В КОНТЕКСТЕ ПРОВЕРКИ ПОДЛИННОСТИ ДОКУМЕНТОВ И ИХ АВТОРСТВА

© 2020 Костенков В.С., Данилов В.В.

В статье приводится анализ научно-технологического развития Российской Федерации в области создания собственных систем хранения данных (далее – СХД). Приводятся указы и постановления, способствующие такому развитию. Раскрываются последствия от создания СХД в отношении проблемы проверки подлинности документов и установления их авторства. Детально описываются механизмы защиты, которые обеспечивают подлинность, достоверность и целостность данных.

Ключевые слова: система хранения данных, подлинность документов, коды Рида-Соломона, RAID, постквантовая криптография.

Введение. В соответствии с утверждённым Правительством Российской Федерации прогнозом научно-технологического развития РФ на период до 2030 года одним из глобальных вызовов является усиление контроля подлинности документов в сети Интернет. Наиболее распространённым способом удостоверения подлинности документов является электронно-цифровая подпись (далее - ЭЦП). У данного подхода есть значительные преимущества, однако, используя алгоритм Шора и квантовый компьютер, ЭЦП могут быть взломаны за полиномиальное время.

Постановка задачи. Анализ тенденций научно-технологического развития Российской Федерации в контексте проверки подлинности документов и их авторства. Выявить преимущества и недостатки существующих подходов по проверке подлинности документов и их авторства.

Основная часть. Подобным исследованиям способствует утверждение в апреле 2014 года кабинетом министров новой редакции государственной программы России «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности». Данная программа была рассчитана до 2020 года. Дополнительным стимулом являются принятые в июле 2016 года федеральные законы, направленные на антитеррористическую деятельность. Согласно пакету законодательных актов, с 1 июля 2018 года все российские провайдеры обязаны хранить весь трафик пользователей в течение 6 месяцев, а также каждый год увеличивать емкость хранилищ на 15% в течение пяти лет. Из вышеприведенного видно, что существует необходимость в создании отечественной системы хранения данных (далее – СХД), совмещающей технологию проверки подлинности обрабатываемых документов.

На наш взгляд, подобная система должна включать в себя следующие отечественные компоненты:

- Алгоритмы кодирования и декодирования информации;
- Алгоритмы постквантовой криптографии;
- Инфокоммуникационная инфраструктура;
- Микропроцессоры и вычислительные комплексы.

Все это позволит обеспечить следующее:

- Авторское право;
- Невозможность отказаться от авторства;

- Конфиденциальность передаваемой информации;
- Подлинность информации;
- Достоверность информации;
- Целостность передаваемой информации.

Проведем анализ подобных разработок в России. В сентябре 2017 года была представлена отечественная СХД TATLIN. Данная система является результатом совместных усилий ИТ-холдинга «Национальная компьютерная корпорация» и госкорпорации «Ростех». К дальнейшей доработке и сопровождению была подключена компания ООО «КНС Групп». Целостность данных в TATLIN обеспечивают механизмы защиты на базе кодов Рида-Соломона [1]. Необходимо отметить, что наиболее распространенной технологией виртуализации данных для объединения нескольких физических дисковых устройств в логический модуль, обеспечивающий повышение отказоустойчивости и производительности, является RAID. На наш взгляд, данная технология обладает серьезными недостатками, а именно:

- Низкий уровень защиты;
- Вероятность отказа дисков статистически коррелирована;
- Сложность поддержки «гетерогенных» систем;
- Отсутствие общепринятого стандарта кодирования и хранения конфигурации массива;
- Невозможность контролировать распределение блоков «parity»;
- Сложность в обслуживании;
- Необходимость наличия запасных дисков.

Все перечисленные выше недостатки, способствовали популяризации технологий, основанных на избыточных кодах, предоставляющих более широкий спектр возможностей по сравнению с классическим RAID.

Коды Рида-Соломона представляют из себя не двоичные циклические коды, позволяющие исправлять ошибки в блоках данных. В них элементами кодового вектора являются не биты, а группы битов. Данные коды являются частным случаем БЧХ-кодов. Коды Рида-Соломона заложены в основу большинства систем с помехоустойчивым кодированием. Помехоустойчивое кодирование является крайним способом защиты от помех [2]. Подлинность информации обеспечивается за счет самого принципа построения данного кодирования. Его сущность состоит в том, что в кодовую комбинацию первичного сигнала по определенному правилу вводятся дополнительные, избыточные символы, которые не несут информации о передаваемом сообщении. Однако использование при передаче этих дополнительных символов позволяет принимающей стороне обнаруживать и исправлять искаженные помехами символы первичного сигнала. Общая схема работы шифрующего модуля кодов Рида-Соломона для версии RS(255,249) представлена на рис. 1.

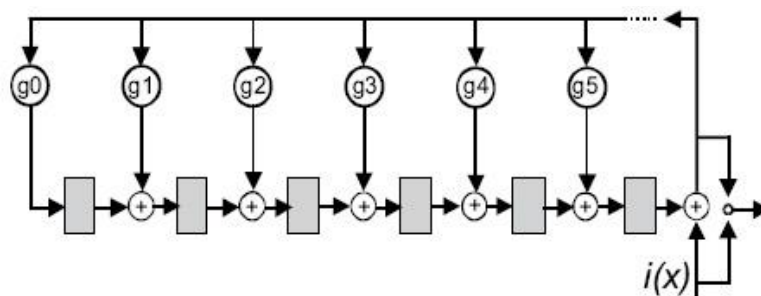


Рис. 1. Общая схема работы шифрующего модуля кодов Рида-Соломона для версии RS(255,249)

Общая схема работы дешифрующего модуля кодов Рида-Соломона для версии RS(255,249) представлена на рис. 2.

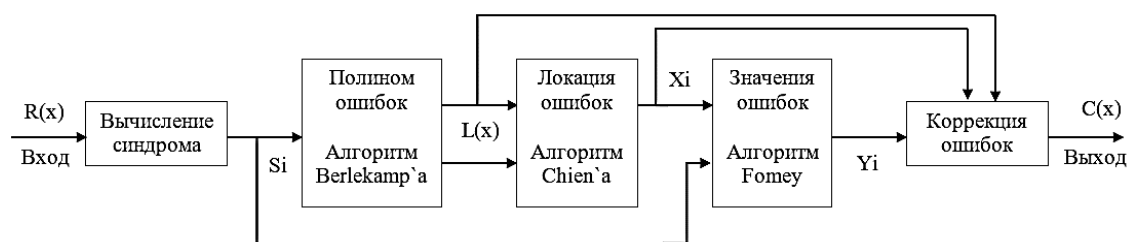


Рис. 2. Схема работы с кодами Рида-Соломона

В таблице 1 представлены расшифровки условных обозначений к рис. 2.

Таблица 1. Расшифровки условных обозначений

Условное обозначение	Расшифровка
$r(x)$	Полученное кодовое слово
S_i	Синдромы
$L(x)$	Полином локации ошибок
X_i	Положения ошибок
Y_i	Значения ошибок
$c(x)$	Восстановленное кодовое слово
v	Число ошибок

Следует отметить, что коды Рида-Соломона также использовались как основа для криптосистемы Нидеррайтера [3]. Данная криптосистема является примером постквантовой криптографии, основанной на кодах исправления ошибок [4].

Преимуществами подобных систем являются:

- Простота реализации и восприятия;
- Более высокая скорость шифрования/дешифрования по сравнению с системой RSA [5];
- Наличие в процедуре шифрования случайным образом выбранной невырожденной матрицы.

К очевидному недостатку подобных криптографических систем следует отнести избыточный размер ключа. В качестве актуального направления исследования в подобных системах следует выделить необходимость повышения скорости работы составных процедур, что позволит противостоять более сложным атакам.

Постквантовая криптография основывается на пяти различных подходах, решающих проблему квантовых атак:

- Криптографии, основанной на хеш-функциях;
- Шифровании с использованием суперсингулярной изогении;
- Криптографии, основанной на многомерных квадратичных системах;
- Криптографии, основанной на кодах исправления ошибок;
- Шифровании с секретным ключом;
- Криптографии, основанной на решётках.

Ориентация на постквантовую криптографию [6] при построении собственных СХД является наиболее приоритетным, поскольку данные алгоритмы останутся актуальным даже после появления квантовых компьютеров и реализуемых с их помощью квантовых атак. Это связано с тем, что по скорости расчета традиционных криптографических алгоритмов квантовые компьютеры [7] значительно превосходят

классические компьютерные архитектуры. Следует, что современные криптографические системы станут потенциально уязвимыми для криптографических атак. Кроме того, большинство традиционных криптосистем опирается на проблемы факторизации целых чисел или задачи дискретного логарифмирования, которые не представляют проблему при вычислениях на достаточно больших квантовых компьютерах, использующих алгоритм Шора. Данный квантовый алгоритм факторизации позволяет разложить число за относительно короткое время, затратив при этом минимальное количество логических кубитов. На наш взгляд, альтернативой ЭЦП является модифицированный вариант технологии, основывающейся на кодах исправления ошибок.

Недостатком отечественного СХД можно назвать зависимость компании от иностранных поставщиков. В частности, сотрудники занимаются проектированием и тестированием плат, но при этом закупают у поставщиков сетевые контроллеры, коммутаторы PCI Express, редрайверы и другие компоненты, собирая затем свои системы на их основе. В данном случае заказчик проводит удаленное тестирование для контроля и обеспечения качества. Однако, данные меры безопасности не позволяют предотвратить угрозу промышленного шпионажа, осуществляемого с применением различного рода технических средств и технологий.

Параллельно с созданием СХД развивается и материальное производство по обеспечению функционирования подобных систем. В частности, российская компания АО «МЦСТ» занимается разработкой и последующим производством материнских плат, микропроцессоров, СБИС, контроллеров, вычислительных комплексов и периферийных модулей. Следует отметить, что 30 мая 2020 года на сайте компании было опубликовано руководство по программированию на платформе «Эльбрус».

Выводы.

- Проанализированы особенности научно-технологического развития Российской Федерации в контексте проверки подлинности документов и их авторства;
- Предложен альтернативный подход по удостоверению подлинности электронных документов, заключающийся;
- Выявлены недостатки классических СХД, основывающихся на RAID технологии, в частности;
- Выявлены недостатки отечественной СХД и предложены рекомендации по их устранению;
- Предложены составные компоненты, необходимые для создания независимой отечественной СХД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маров А. В. Матричный формализм кодов Рида-Соломона / А. В. Маров, А. Ю. Утешев. – Текст : электронный // Вестник СПбГУ. Серия 10. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. – 2016. – № 4. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/matrichnyy-formalizm-kodov-rida-solomona> (дата обращения: 16.04.2020).
2. Турдиев О. А. Обзор кодов для помехоустойчивого кодирования / О. А. Турдиев, В. В. Яковлев, С. В. Клименко. – Текст : электронный // Интеллектуальные технологии на транспорте. – 2019. – № 2 (18). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-kodov-dlya-pomehoustoychivogo-kodirovaniya> (дата обращения: 18.04.2020).
3. Гордов Н. А. Криптосистемы Мак-Элиса и Нидеррайтера в атаках декодирования классической информации / Н. А. Гордов. – Текст : электронный // Современные научные исследования и инновации. – 2020. – № 6. – URL: <http://web.snauka.ru/issues/2020/06/92527> (дата обращения: 04.06.2020).

4. Конопелько В. К. Новые непримитивные коды, образованные из примитивных БЧХ-кодов и кодов Хемминга и их норменная обработка / В. К. Конопелько, В. А. Липницкий. – Текст : электронный. // Доклады БГУИР. – 2019. – № 3 (121). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/novye-nep primitivnye-kody-obrazovannye-iz-primitivnyh-bchh-kodov-i-kodov-hemminga-i-ih-normennaya-obrabotka> (дата обращения: 10.05.2020).
5. Canteaut A. Cryptanalysis of the Original McEliece Cryptosystem / A. Canteaut, N. Sendrier. – DOI 10.1007/3-540-49649-1_16. – Текст : электронный // Advances in Cryptology – ASIACRYPT 1998 : International Conference on the Theory and Applications of Cryptology and Information Security, Beijing, China, October 18-22, 1998. – Berlin : Springer Berlin Heidelberg, 1998. – P. 187-199. – (Lecture Notes in Computer Science ; Vol. 1514). – URL: (дата обращения: 11.05.2020).
6. Комарова А. В. Анализ основных существующих пост-квантовых подходов и схем электронной подписи / А. В. Комарова, А. Г. Коробейников. – Текст : электронный // Вопросы кибербезопасности. – 2019. – № 2 (30). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-osnovnyh-suschestvuyuschih-post-kvantovyh-podhodov-i-shem-elektronnoy-podpisi> (дата обращения: 14.04.2020).
7. Соловьев В. М. Квантовые компьютеры и квантовые алгоритмы. Часть 1. Квантовые компьютеры / В. М. Соловьев. – Текст : электронный // Известия Саратовского университета. Новая серия Серия Математика. Механика. Информатика. – 2015. – № 4. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kvantovye-kompyutery-i-kvantovye-algoritmy-chast-1-kvantovye-kompyutery> (дата обращения: 18.05.2020).

Поступила в редакцию 16.06.2020 г.

PECULIARITIES OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT OF THE RUSSIAN FEDERATION IN THE CONTEXT OF CHECKING THE AUTHENTICITY OF DOCUMENTS AND THEIR AUTHORITY

Kostenkov V.S., Danilov V.V.

The article provides an analysis of the scientific and technological development of the Russian Federation in the field of creating its own data storage systems (hereinafter - SHD). Decrees and decrees conducive to such development are provided. The consequences of creating storage systems in relation to the problem of verifying the authenticity of documents and establishing their authorship are disclosed. The protection mechanisms that ensure the authenticity, reliability and integrity of data are described in detail.

Keywords: data storage system, document authenticity, Reed-Solomon codes, RAID, post-quantum cryptography.

Костенков Владислав Сергеевич

аспирант кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: vlad.kostenkov2016@yandex.ru

Kostenkov Vladislav Sergeevich

Postgraduate student at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

Данилов Владимир Васильевич

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: ut5iv@mail.ru

Danilov Vladimir Vasilevich

Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Head of the Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

УДК 004.048

РАЗРАБОТКА ПРИКЛАДНОЙ ОНТОЛОГИИ В СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ НАУЧНЫХ И НАУЧНО - ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

© 2020 Андриевская Н.К.

В условиях научно-образовательной организации ГОУ ВПО ДОННТУ была разработана онтология предметной области научной и методической деятельности. Приведено формализованное описание онтологий и основные принципы их построения. Описана комбинированная технология построения онтологической модели, которая подразумевает поиск и интеграцию подходящих «top-level» готовых онтологий для формирования базового верхнего уровня онтологии и использование корпусов документов и широких междоменных онтологий для автоматического и полуавтоматического формирования предметных онтологий нижних уровней. Приведен обзор и выбраны две онтологии верхнего уровня, Dublin Core и FOAF, для дальнейшего использования. Спроектирована «базовая» прикладная онтология в среде Protégé. Приведено описание разработанной прикладной онтологии и произведена визуализация онтографа. На последнем этапе исследований была проведена проверка модели резонерами, успешное выполнение которой подтвердило корректность построения. Вопросы автоматического и полуавтоматического формирования нижних уровней онтологии, расширения и оценки качества не представлены в данной работе и будут исследованы в дальнейшем.

Ключевые слова: онтология, Semantic Web, protégé tool, OWL, Reasoning, таксономия.

Введение. Последние годы характеризуются активным ростом наукоемких процессов обработки информации с использованием современных ИТ. С увеличением объемов информационных потоков появляется необходимость использования новых способов хранения, представления, формализации и систематизации данных, а также их автоматической обработки. Разработка онтологии предметной области деятельности научной и научно-образовательной организации и использование современных технологий Semantic Web позволят перейти на новый уровень обработки информации – семантический, с возможностью поиска и извлечения не только документов, но и знаний. В работе [1] был предложен, а в работе [2] подробно описан базирующийся на онтологии подход к построению системы управления профессиональными знаниями вуза, обеспечивающий представление и интерпретацию информации в виде знаний. Каркасом разрабатываемой системы является прикладная онтология в области учета научной и профессиональной деятельности, не затрагивающая на данном этапе непосредственно учебные процессы.

Постановка задачи. Формализованную модель онтологии предметной области можно представить как знаковую систему, где O – онтология [3]:

$$O = (C, R, A, P, D), \quad (1)$$

$C = \{c_1, ..., c_n\}$ – конечное множество понятий, где $n = 1...N$ – количество понятий, присутствующих в онтологии;

$R = \{r_1, ..., r_m\}$ – конечное множество отношений между понятиями

$r_i(c_x, c_y)$, где $m = 1...M$ – количество отношений между понятиями;

$A = \{a_1, ..., a_w\}$ – конечное множество атрибутов, т.е. бинарных отношений, при $w = 1...W$ – количество атрибутов.

$P = \{p_1, ..., p_t\}$ – конечное множество конкретных свойств атрибута, при

$t = 1...T$ – количество свойств атрибута.

$D = \{d_1, \dots, d_k\}$ – конечное множество типов отношений, при $k = 1 \dots K$ – количество типов отношений.

Все онтологии делятся на следующие виды [4]:

– "весомые" онтологии (Heavy-weighted), содержащие аксиомы:

$$O = \{C, R, A\}; \quad (2)$$

– "легкие" (Light-weighted), не содержащие аксиом:

$$O = \{C, R, \{\}\}. \quad (3)$$

Пусть $R = \emptyset$ и $F = \emptyset$. Тогда онтология O трансформируется в простой словарь:

$$O = V = \langle C, \{\}, \{\} \rangle. \quad (4)$$

Исходя из требований, предъявляемых к онтологии, следует, что общее количество понятий, используемых в онтологии, должно стремиться к максимальному числу понятий, используемых в данной предметной области:

$$n \rightarrow N_{\max}. \quad (5)$$

Это достигается постепенно, при последовательном расширении онтологии в процессе функционирования системы.

В силу того, что около 80 % ранее разработанных онтологий относятся к "легким" и они более удобны в реализации, следует стремиться к их широкому использованию при разработке онтологической модели системы управления знаниями научных и научно-образовательных организаций.

Принципы построения прикладной онтологии. Развитие механизмов создания, обновления и поддержки онтологий является весьма актуальной задачей в настоящее время. Существуют различные подходы к построению онтологий, подробно они были описаны в работе [2]. Изучив предметную область данной системы, предлагается разработать каркас онтологической модели, ее условно статическую часть в экспертном режиме, чтобы повысить непротиворечивость создания модели. Назовем такую онтологическую модель «базовой». В дальнейшем «базовая» модель будет откорректирована, улучшена и расширена за счет процедур автоматического и полуавтоматического пополнения знаний.

В целом, прикладная онтология предназначена для представления понятий, необходимых для описания научной и методической деятельности, а также описания тематик конкретных научных исследований и дисциплин.

При построении базовой онтологии будем использовать уже сложившееся разделение всей онтологии на онтологию «верхнего уровня» и «онтологии предметных областей». Онтологию научного знания можно разделить на онтологии верхнего уровня, описывающие, например, предметно-независимые онтологии и онтологии предметных областей (ПО) для конкретных научных областей. Как показано в работе [2], в необходимости создания онтологии верхнего уровня убеждены почти все авторы приведенных в обзоре публикаций. С помощью использования онтологий верхнего уровня устраняется проблема сравнения различных онтологий между собой, а также проблемы интеграции нескольких онтологий. Онтологии предметного знания должны конкретизировать и подстроить онтологию верхнего уровня под конкретную предметную область. Онтологии, ориентированные на решение конкретных задач, еще более раскрывают предметную область.

Процесс построения онтологий итерационный и состоит из определенных этапов, каждый из которых позволяет извлекать из текста знания. Одним из важных этапов

является проверка экспертом построенной онтологии. При разработке онтомоделей проектируемой системы обработки данных научной и научно - образовательной организации будет использоваться комбинированный способ формирования онтологии, которая будет иметь составную структуру, подразделяющуюся на онтологию «верхнего уровня» и «онтологии предметных областей». Так как в соответствии с формулой 5 мы должны стремиться к максимальному объему онтологии, то, в общем, технология создания включает:

1. Подбор и использование онтологий верхнего уровня, существующих глоссариев, тезаурусов.
2. “Экспертное” создание таксономий, метатэгов и онтологий.
3. Подбор и использование онтологий верхнего уровня, существующих глоссариев, тезаурусов для выбора имен понятий и экземпляров при автоматическом формировании онтологий.
4. Для расширения онтологии предлагается использовать также автоматическую обработку корпусов документов.
5. При автоматическом формировании онтологий нижних уровней следует использовать не только разработанные междоменные и тематические онтологии, но и возможности получения знаний из открытых источников Интернет, когда «базовую» онтологию верхнего уровня можно использовать для полуавтоматического или автоматического поиска и простой категоризации знаний нижних уровней.
6. Подбор и использование существующих междоменных онтологий при населении классов экземплярами.

Выбор онтологий верхнего уровня. Рассмотрим описание популярных существующих онтологий верхнего уровня и широких онтологий (табл. 1).

Таблица 1. Существующие онтологии

Уровень	Описание
Top-level	Сус - содержит 2,2 миллиона утверждений (фактов и правил), описывающих более 250 тысяч термов, включая почти 15000 предикатов.
Top-level	Sowa's top-level ontology.
Top-level	SUMO
	Marc - представляющая структуру формата MARC21 и Dublin Core на языке OWL.
	SKOS - Семейство формальных языков для описания классификационных схем, тезаурусов, авторитетных файлов. В настоящее время разработки ведутся в W3C.
Top-level	BFO Basic Formal Ontology - 36 классов, в основном в медицине, ориентирована на создание онтологий в рамках научных исследований, не содержит свойств.
Top-level	GFO General Formal Ontology - 79 классов, в основном в медицине.
Top-level	DOLCE - около 1000 классов, в системах на базе веб-технологий.
	DBpedia междоменная онтология, основанная на наиболее часто используемых терминах в статьях Википедии. Он содержит более 685 классов, 2795 различных свойств и более 4,2 миллиона экземпляров.
	CERIF 2008 Основные объекты— это Person, Organisation Unit и Project.
	TOVE (Toronto Virtual Enterprise) - построение интегрированной модели, состоящей из следующих онтологий: операций, состояний и времени, организации, ресурсов, продуктов, производства, цены, количества.
Top-level	DUBLIN CORE - Описание библиографических ссылок - содержит выходные данные о публикации: о дате выхода, издании, серии, страницах, ISBN, ISSN, краткое содержание, комментарии и пр.
	FOAF-проект, посвященный связыванию людей и информации с помощью Интернета.
	KAUSTUS— построение методологии многократного применения знаний о технических системах во время их жизненного цикла.

Обратим внимание при выборе онтологии верхнего уровня на Дублинское ядро (Dublin Core). Расширенный набор метаданных Dublin Core содержит 33 поля, соответствует ISO 158362003 и ГОСТ Р 7.0.10-2010.

Выбранные классы [5]:

- BibliographicResource: книга, статья или другой документальный ресурс.
- FileFormat: формат цифровых ресурсов.
- MediaType: формат файла или физического носителя.
- MediaTypeOrExtent: тип или экстенст носителя.
- PhysicalMedium: физический материал или носитель. Примеры включают бумагу, холст или DVD.
- PhysicalResource: материальная вещь.
- SizeOrDuration: измерение или экстенст, или время, необходимое для воспроизведения или исполнения. Примеры включают количество страниц, указание длины, ширины и ширины или период в часах, минутах и секундах.

Граф выбранных классов приведен на рис. 1, их объектные свойства на рис 2.

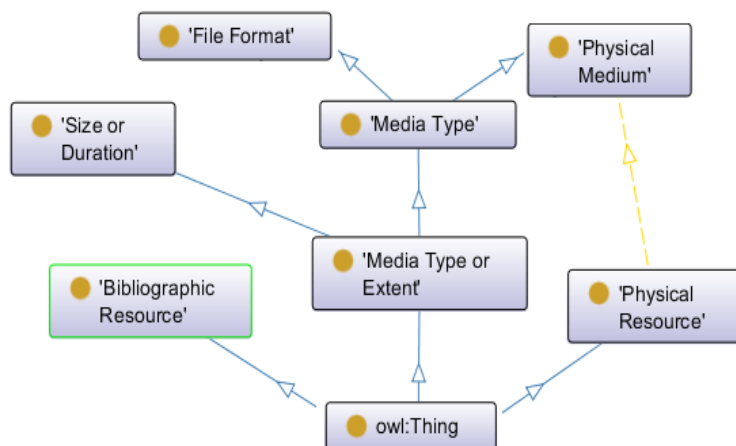


Рис. 1. Граф Dublin Core для интеграции с моделью системы

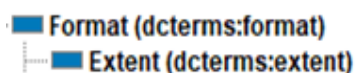


Рис. 2. Объектные свойства для выбранных классов Dublin Core

Рассмотрим «top-level» онтологию FOAF [6]. Выбранные классы:

- Agent: класс агентов; некая абстракция. Хорошо известный подкласс - Персона, представляющая людей. Другие виды агентов включают в себя организацию и группу.
- Group: представляет собой набор отдельных агентов (и сам может играть роль агента).
- Organization: представляет собой своего рода агента, соответствующего социальным институтам, таким как компании, общества и т. д.
- Person: представляет людей. Класс Person является подклассом класса Agent, так как все люди считаются «агентами» в FOAF.
- OnlineAccount: предоставление какой-либо формы онлайн-услуги какой-либо стороной (косвенно указанной через accountServiceHomepage) для какого-либо Агента.

Граф выбранных классов представлен на рис. 3, свойства классов на рис. 4:

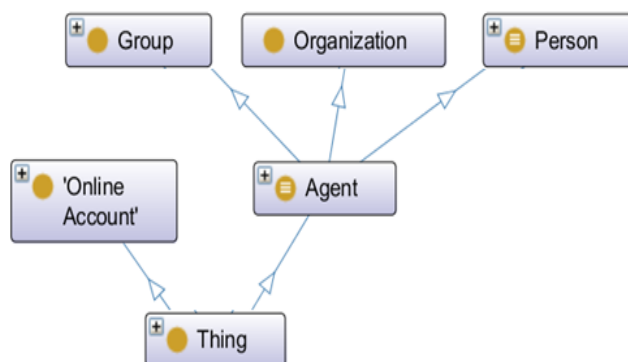


Рис.3. Граф FOAF для интеграции с моделью системы



Рис. 4. Объектные свойства для выбранных классов FOAF

Онтология верхнего уровня Dublin Core прекрасно подходит при разработке формата метаданных, определяющих состав и семантику элементов данных для использования в системах обработки данных научной и научно - образовательной организации, часть информации о персоне и деятельности будем использовать из готовой онтологии FOAF. Эти онтологии были адаптированы: удалены не используемые классы и свойства и подкорректированы описания классов для дальнейшей интеграции в разрабатываемую онтологию.

Разработка «базовой» онтологической модели. Для реализации прикладной онтологической модели был выбран редактор онтологий Protégé - самый популярный инструмент для редактирования онтологий и для разработки онтологий [2]. Он имеет графический интерфейс, который позволяет разработчикам онтологий концентрироваться на концептуальных терминах, не думая о синтаксисе языка вывода. Protégé обладает гибкой моделью знаний и расширяемой архитектурой плагинов.

При построении модели необходимо выполнить следующие этапы: определить классы онтологии, расположить классы в таксономическую иерархию, определить объектные свойства (отношения), а также свойства данных (атрибуты), заполнить значения экземпляров.

Определяем классы и строим иерархию классов. Все концепции, показанные на рисунке 5, в основном сосредоточены на организационной структуре вуза, преподавателе, публикациях, студентах.

Далее мы определяем свойства объекта в соответствии с нашим отношением, которое мы хотим добавить между классами при помощи соответствующих пунктов в закладке Characteristics. Например, в один момент времени организация может иметь только одного начальника, следовательно, отношение hasBoss должно быть отмечено как Functional.

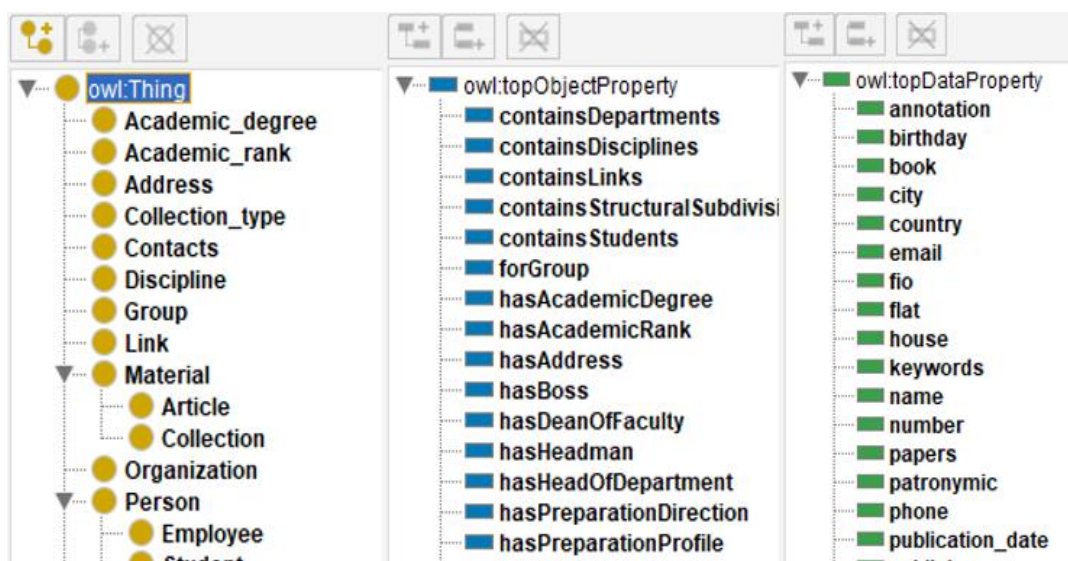


Рис. 5. Иерархия классов, объектные свойства, а также свойства данных

Или, если в один момент времени сотрудник может быть членом нескольких организаций тогда отношение organizationMember должно иметь свойство Inverse functional.

Средствами редактора Protégé был построен онтограф семантической сети рассматриваемой предметной области в результате онтологического моделирования (рис. 6). В данном примере приведен каркас онтологической модели, включающий только классы.

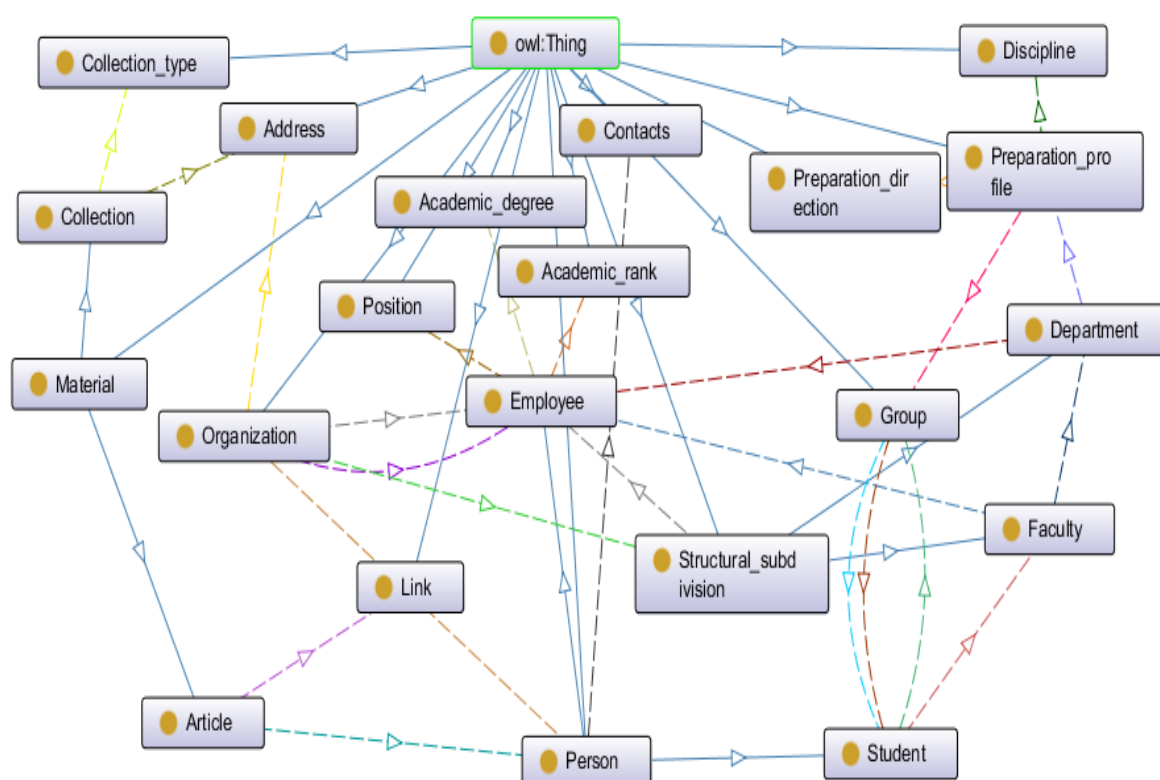


Рис. 6. Онтограф «базовой» онтологической модели

Сведем описание классов, атрибутов в таблицу 2 и их отношений таблицу 3.

Таблица 2. Описание классов, атрибутов

Class Описание	Основные свойства данных (Атрибуты)
Link	фио (fio), название (title), издание (book), год (year), том (tom), выпуск всего (volume), выпуск в году (number), страницы (papers)
Address	страна (country), индекс (zip_code), город (city), штат (state) квартира (flat), улица (street), номер дома (house)
Contacts	эл. почта (email), телефон (phone)
Academic_degree	к.т.н (кандидат технических наук), к.э.н (кандидат эконом. наук)
Academic_rank	Доцент, профессор
Collection_type	Издание, журнал, книга, материалы конференции
Discipline	Программирование, Основы дискретной математики
Group	наименование (title), год формирования (year)
Material(abstract)	название (title)
Article	УДК (UDK), аннотация (annotation), ключевые слова (keywords), дата публикации (publication_date)
Collection	издательство (publisher), год издания (year)
Organization	наименование (title)
Person	фамилия (surname), имя (name), отчество (patronymic), день рождения (birthday)
Student	NULL
Position	Преподаватель, ассистент
Preparation_direction	код специальности (specialtyCode), наименование (title)
Preparation_profile	NULL
Structural_subdivision	наименование (title)
Department	NULL
Faculty	NULL

Таблица 3. Описание отношений

Class Описание	Свойства объектов (Отношения)
Link	NULL
Address	NULL
Contacts	NULL
Academic_degree	NULL
Academic_rank	NULL
Collection_type	NULL
Discipline	NULL
Group	имеетСтаросту (hasHeadman), содержитСтудентов (containsStudents)
Material(abstract)	NULL
Article	былаНаписанаАвторами (wasWrittenByAuthors) содержитСсылки (containsLinks)
Collection	имеетАдрес (hasAddress), имеетТип (hasType)
Organization	имеетНачальника (hasBoss), находитсяПоАдресу (located AtAddress), содержитСтруктурныеПодразделения, (contains StructuralSubdivisions), имеетСотрудников (hasStaff)
Person	имеетКонтакты (hasContacts), членОрганизации (organizationMember)
Employee	имеетУченоеЗвание (hasAcademicRank), имеетУченуюСтепень (hasAcademicDegree), занимаетДолжность (holdsPosition)
Student	состоитВГруппе (isInGroup), относитсяКФакультету (refersToFaculty)
Preparation_profile	дляГруппы (forGroup), содержитДисциплины (containsDisciplines) имеетНаправлениеПодготовки (hasPreparationDirection)
Structural_subdivision	имеетСотрудников (hasStaff)
Department	имеетЗаведующего (hasHeadOfDepartment) имеетПрофилиПодготовки (hasPreparationProfile)
Faculty	имеетДекана (hasDeanOfFaculty) содержитКафедры (containsDepartments)

Проверка корректности построенной модели. Для проверки корректной работы полученной онтологии сначала выполним несколько запросов SPARQL. Запросы отработали верно (рис.7).

SPARQL query:		SPARQL query:	
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#> PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#> PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#> PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#> SELECT ?subject ?object WHERE { ?subject rdfs:subClassOf ?object }		PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#> PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#> PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#> PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#> PREFIX city: <http://www.semanticweb.org/valer/ontology#> SELECT ?address WHERE { ?address city:"Донецк" }	
subject	object	address	
Department	Structural_subdivision		
Faculty	Structural_subdivision		
Student	Person	Донецк, ул.Артема,94'	
Collection	Material	address3	
Article	Material	address1	
Employee	Person		

Рис. 7. Запросы SPARQL

Классы, индивиды и свойства определены, и мы можем использовать резонеры для вывода иерархической структуры в Protégé. В Protégé иерархия вручную построенных классов называется заявленной иерархией, а иерархия классов, которая автоматически вычисляется резонером, называется выводимой иерархией. Запустим на выполнение резонер Hermit 1.4.3.456 (рис. 8).

```

INFO 12:49:37 ----- Running Reasoner -----
INFO 12:49:38 Pre-computing inferences:
INFO 12:49:38   - class hierarchy
INFO 12:49:38   - object property hierarchy
INFO 12:49:38   - data property hierarchy
INFO 12:49:38   - class assertions
INFO 12:49:38   - object property assertions
INFO 12:49:38   - same individuals
INFO 12:49:38 Ontologies processed in 1386 ms by Hermit

```

Рис. 8. Результаты работы резонера

Отметим, что различия в заявленной иерархии и выводимой отсутствуют, ошибки не определяются, следовательно, классы в онтологии корректны, онтологическая модель представлена в согласованном виде.

Выводы. В результате выполнения работы была спроектирована «базовая» онтология, которая представляет собой некоторую разновидность семантической сети, имеющей вид ориентированного графа, вершинами которого являются классы, дугами – свойства, представляющие направленные отношения или связи между ними.

Онтологическая модель будет использована при решении разных задач системы при обработке данных научных и научно-образовательных организаций [2, 7]. По мере рассмотрения тем предметной области, в процессе извлечения знаний, онтология будет пополняется новыми понятиями. Вопросы автоматического и полуавтоматического формирования нижних уровней онтологии, расширения и оценки качества не представлены в данной работе и являются темами дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андриевская, Н. К. Основные принципы и подходы при разработке системы управления профессиональными знаниями вуза / Н. К. Андриевская // Информатика и кибернетика. – 2019. – № 4 (18). – С. 49-56.
2. Андриевская, Н. К. Онтологический подход в системах обработки данных научных и научно-образовательных организаций / Н. К. Андриевская // Проблемы искусственного интеллекта. – 2020. – № 1 (16). – С. 23-36.
3. Бажанова, А. И. Исследование применения онтологических моделей для семантического поиска / А. И. Бажанова, Т. В. Мартыненко // Информационные управляющие системы и компьютерный мониторинг (ИУС и КМ - 2011) : материалы II научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Донецк : ДонНТУ, 2011. – С. 244-248.
4. Mizoguchi R.. Using Ontological Engineering to Overcome Common AI-ED Problems / Riichiro Mizoguchi, Jacqueline Bourdeau // Journal of Artificial Intelligence and Education. – 2000. – № 11. – P. 107-121.
5. Jena documentation overview. – URL: <https://jena.apache.org/documentation> (дата обращения: 16.03.2020). – Текст : электронный.
6. FOAF Vocabulary Specification 0.99. – URL: <http://xmlns.com/foaf/spec/> (дата обращения: 16.03.2020). – Текст : электронный.
7. Бажанова, А. И. Разработка морфологического анализатора для построения понятийного аппарата электронной библиотеки кафедры АСУ / А. И. Бажанова, Т. В. Мартыненко, Н. К. Андриевская // Материалы II научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Донецк : ДонНТУ, 2011. – С. 326-330.

Поступила в редакцию 22.06.2020 г.

DEVELOPMENT OF APPLIED ONTOLOGY IN DATA PROCESSING SYSTEMS OF SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL ORGANIZATIONS

Andrievskaya N.K.

A domain ontology of scientific and methodological activities for scientific and educational organization Donetsk National Technical University developed. A formalized description of ontologies is given and the basic principles of their construction are described. A combined technology for constructing an ontological model is described. The mentioned technology includes suitable ready-made technologies integration for basic top-level ontology formation and using of document bodies and broad cross-domain ontologies for automatic and semi-automatic formation of lower levels subject ontologies. Two top-level ontologies, Dublin Core and FOAF, are reviewed and selected for further use. A "basic" applied ontology designed in the Protégé environment. The developed applied ontology is described and the ontograph is visualized. The correctness of the model construction was confirmed by the successful testing of resonators. The issues of automatic and semi-automatic formation of the lower levels of ontology, extension, and quality assessment are not presented in this paper and will be investigated in the future.

Keywords: ontology, Semantic Web, Protégé tool, OWL, Reasoning, taxonomy.

Андриевская Наталия Климовна

Старший преподаватель кафедры
автоматизированных систем управления ГОУ
ВПО «Донецкий национальный технический
университет»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: nataandr@yandex.ru

Andrievskaya Natalia Klimovna

Senior lecturer of the automated control systems
department of Donetsk National Technical
University,
DPR, Donetsk.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОТКРЫТЫХ КЛЮЧЕЙ© 2020 *Кожекина Е.Н., Волошин А.Г.*

В данной работе предложен обобщенный метод комбинирования двух схем электронной подписи, одна из которых является асимметричной схемой построенной на базе математического аппарата полей Галуа, а другая схема основывается на теории решеток. Протокол аутентификации, основанный на комбинированном решении задачи, обладает повышенным уровнем безопасности.

Ключевые слова: электронно цифровая подпись, асимметричная схема, теория решёток, поля Галуа.

Введение. В современных асимметричных криптосистемах существует ряд проблем. В основном они связаны с вопросами криптографической стойкости и приемлемой длины ключей. Возможности вычислительных ресурсов с каждым годом увеличиваются, что позволяет легитимным пользователям получать, обрабатывать и передавать информацию быстрее, но и криптоаналитики остаются в плюсе – вероятность взлома существующих схем увеличивается, а время, потраченное на этот процесс, уменьшается. Из-за этого возникает постоянная потребность в увеличении размеров ключей, что отрицательно сказывается на производительности.

Другой проблемой является потенциальная возможность появления квантового компьютера. С каждым годом его появление все больше становится реальностью. Данный аспект может критически повлиять на стойкость существующих эксплуатируемых на разных уровнях безопасности криптосистем. Ведущими мировыми научными коллективами постоянно ведутся разработки по построению принципиально нового вычислительного устройства. Если вычислительные возможности нарушителя возрастут в десятки, сотни, тысячи раз, то это приведёт к резкой необходимости увеличения длины ключей до критического уровня, не пригодного для их успешной эксплуатации в реальных информационных системах.

Вопрос модификации существующих криптосистем не однократно поднимался в научных работах [1]. В них были предложены подходы по комбинированию нескольких трудно решаемых задач в одной схеме электронной подписи. Данные схемы обладают повышенной криптостойкостью за счёт уменьшения вероятности появления новых видов атак, причём взлом схем потребовал бы умение решать эти задачи одновременно.

Однако, в силу того, что все предложенные схемы основываются на сложно вычислимых задачах теории чисел, вероятность их компрометации с помощью компьютера нового поколения стремительно растёт. Эту проблему можно решить путем использования примитивов пост-квантовой криптографии, сравнительно новой отрасли криптографии, призванной противостоять атакам, реализованным с помощью квантового компьютера.

Однако пост-квантовая криптография остается мало изученной в сравнении с классической асимметричной криптографией, поэтому с теоретической точки зрения тотальный переход на новые примитивы сразу не может обеспечить полной защищенности. Для этого нужна глубокая апробация рабочих схем в реальной жизни.

В силу всего выше изложенного, можно видеть, что интересной и актуальной разработкой будут являться комбинированные системы. Такого рода системы предполагают двойную защиту.

Постановка задачи. Разработать схему электронной подписи, взлом которой требует одновременного решения двух сложно вычислимых задач.

Генерация параметров протокола. Реализацию схем электронной подписи, основанных на нескольких трудно решаемых криптоаналитических задачах, можно осуществить путём механического комбинирования нескольких схем подписи, то есть подписать электронный документ одной подписью, далее подписать электронный документ другой подписью, и общую подпись к данному документу представить как конкатенацию двух этих подписей. Таким образом, итоговая подпись будет представлять собой совокупность двух других подписей.

Общую схему такой реализации можно точнее описать, как на рисунке 1.

На вход подаётся электронный документ M и два (или более) заранее сгенерированных набора параметров подписей $1K$ и $2K$. С помощью процедуры генерации ключевой пары $KeyGen$ вырабатываются две пары ключей подписанта.

Открытые ключи $1pk$ и $2pk$ будут храниться в справочнике открытых ключей пользователей и являются общедоступными, закрытые ключи $1sk$ и $2sk$ хранятся в секрете у подписывающего. Электронный документ M подаётся на вход в некоторую криптографически стойкую к коллизиям функцию хэширования $Hash$, которая на выходе выдаёт хэш H фиксированной длины. Далее хэш H и закрытый ключ $1sk$ подаются на вход в функцию $Sign$, создающую на выходе первую ЭП $1S$.

Также хэш H и закрытый ключ $2sk$ подаются на вход в функцию $Sign$, создающую на выходе вторую ЭП $2S$. Итоговой подписью к документу M будет являться, как было сказано ранее, пара подписей $(1S \parallel 2S)$.

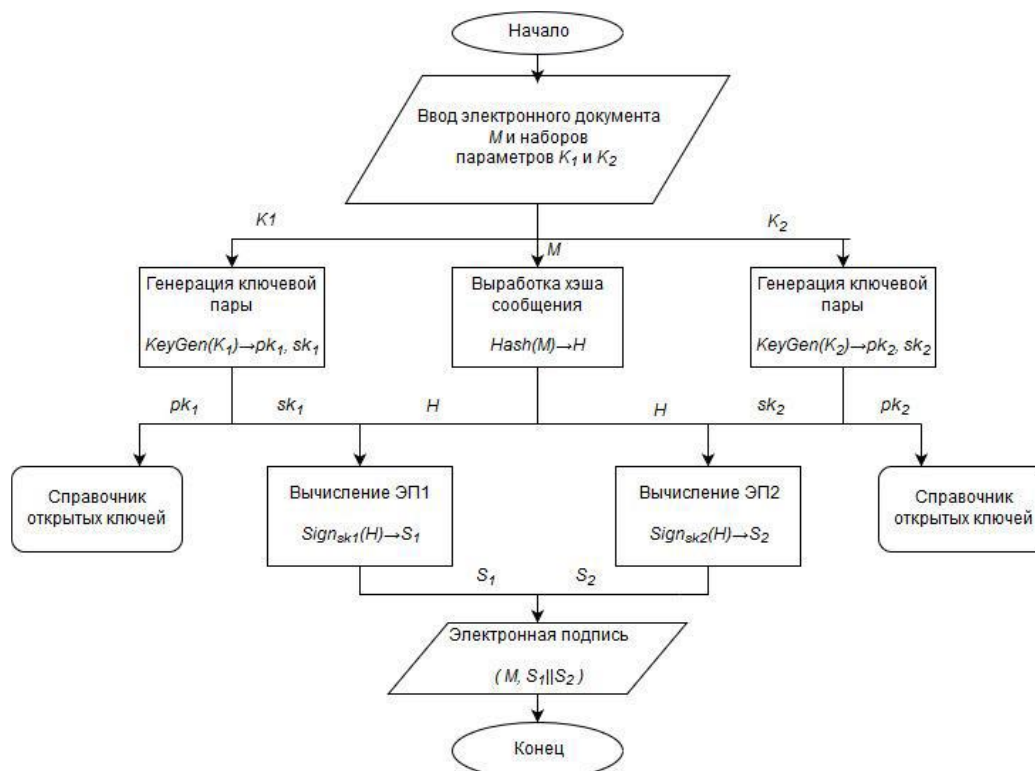


Рис. 1. Общая схема реализации электронной подписи

Как и в общей схеме генерации ключей и подписи процедуры генерации ключевых пар KeyGen и последующая передача открытых ключей в справочник открытых ключей выполняются не при каждой выработке подписи, а по мере необходимости, в целях поддержания требуемого уровня безопасности. Алгоритм проверки такой механически созданной подписи представлен на рисунке 2.

На вход проверяющему подаётся ЭП, являющаяся конкатенацией двух отдельных подписей ($1S \parallel 2S$), и подписанный электронный документ М. Далее происходит отделение документа М и подписей 1S и 2S для дальнейшего их использования в разных процедурах. Документ снова подаётся на вход в эту же криптостойкую функцию хэширования Hash, и на выходе получается значение хэша Н. Далее Н, подпись 1S и открытый ключ $1pk$ отправляются на вход в функцию проверки подписи Verify. Также хэш Н, подпись 2S и открытый ключ $2pk$ отправляются на вход в функцию Verify. Если ответ в обоих случаях положительный, то подпись признаётся верной и с большой долей вероятности принадлежит подписанту. Если же ответ в одном или в обоих случаях отрицательный, то в рамках допустимого числа ошибок алгоритм проверки можно запустить заново.

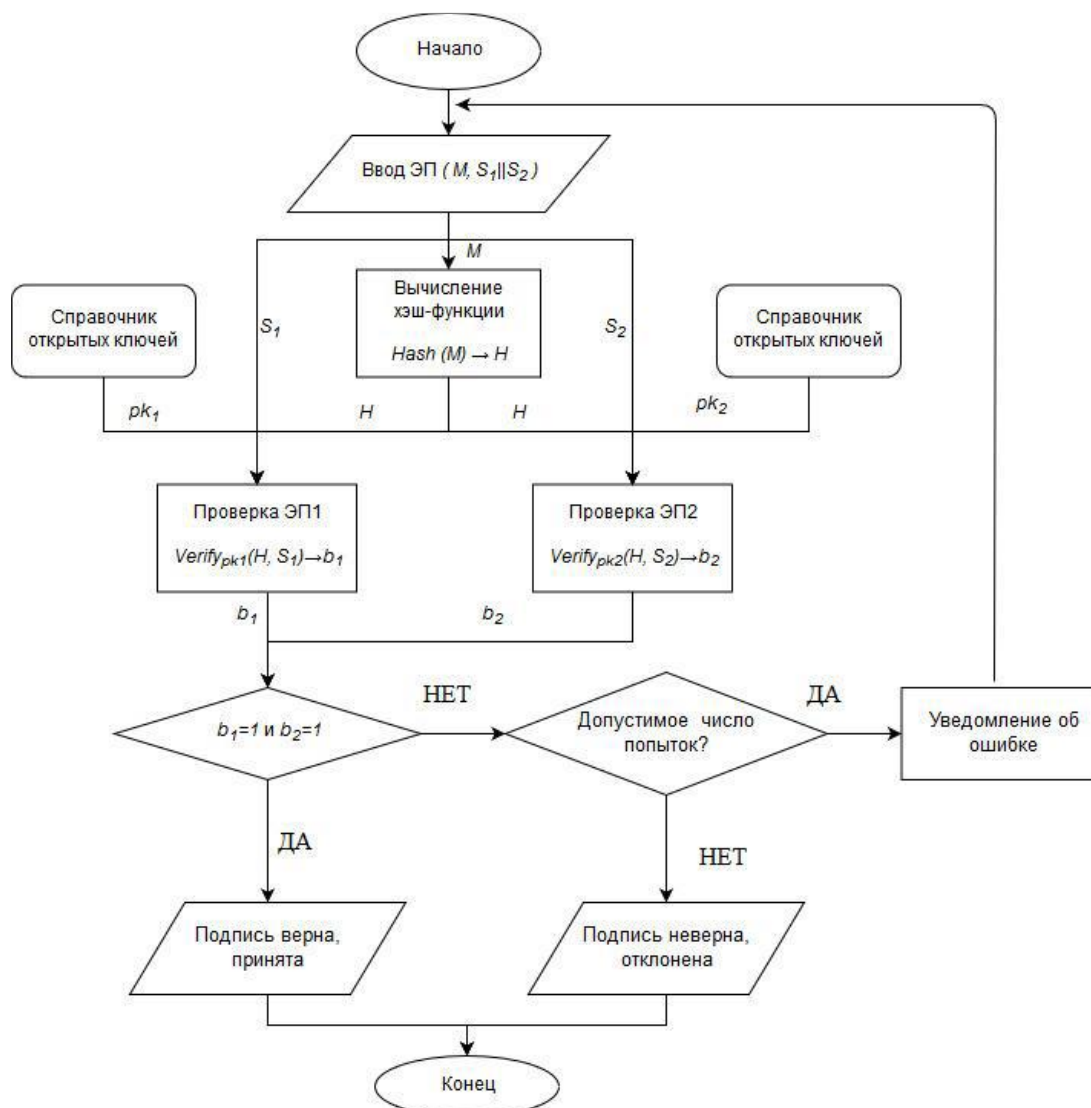


Рис. 2. Алгоритм проверки механически созданной подписи

Необходимо отметить, что функция хэширования Hash должна выбираться криптографически стойкой, причём в рамках поставленной задачи, данная функция должны быть резистентная (то есть должна быть стойкой) к квантовому вычислительному устройству. Ввиду этого, предпочтительным будет являться использование хэш-функций из семейства пост-квантовых.

Данные функции являются стойкими ко всем видам коллизий и за счёт своей основы на базе теории решёток, являются интересной перспективой для дальнейшего использования в реальных системах с требуемым высоким уровнем безопасности.

Формирование подписи. Рассмотрим возможность использования RSA-модуля [2] в схеме Falcon. В этом случае модуль q не будет задаваться в самом начале вместе с параметрами N и d , а будет вычисляться следующим образом: сгенерировать простые числа a и b , такие, что существует делитель r , такой, что r делит $(a-1)$ и r делит $(b-1)$. Длина r предполагается равной 256-512 бит; вычислить RSA-модуль $q=ab$. Все остальные процедуры и шаги при генерации ключей, формировании подписи и проверки подписи в данном случае остаются без изменений. Тогда в итоговой схеме открытый и закрытый ключи не изменятся, но параметры a , b необходимо также хранить в секрете. Однако можно показать, что такая схема не основывается на двух трудоемких задачах одновременно, так как злоумышленник сможет подобрать такой вектор v , близкий к вектору s , чтоб выполнялось условие $\|s\| < \beta$, и в этом случае схема будет скомпрометирована. Следует отметить, что попытки использования другого вида модулей, например, модулей, построенных по формуле $q=2zr+1$, где z и r большие простые числа, также не усложнит задачу для злоумышленника. Воспользуемся алгоритмом электронной подписи, реализованного путем синтеза схемы ЭП Шнорра [1] и схемы Falcon сокращенно ФАШ. Блок-схемы процессов формирования и проверки подписи алгоритма ФАШ представлены на рисунках 3 и 4 соответственно. Процедура генерации ключей схемы ФАШ:

- генерируются матрицы A и B по требованиям схемы Falcon;

- генерируются закрытый и открытый ключи, как в схеме электронной подписи Шнорра.

Закрытым ключом будут являться (x, B) .

Открытым ключом будут являться (y, A) .

Процедура генерации подписи к сообщению M :

генерируется случайное число k , $1 < k < q$ взаимно простое с $p-1$;

вычисляется значение $R = ak \bmod p$;

вычисляется $h = H(M \parallel R)$;

вычисляется значение $S: S = k * xh \bmod (p, 1)$.

вычисляется значение c , такое чтоб выполнялось условие $T_{cA} > h$;

с помощью матрицы B вычисляется $v \in L\{B\}$, близкий к c ;

вычисляется разность $s = c - v$.

Подписью являются (s, h, S) .

при решении задачи дискретного логарифмирования. Отметим, что длина подписи данной схемы будет меньше, чем сумма длин исходных подписей. Достоинствами данного кода по сравнению с остальными является простота реализации и защита, позволяющая фиксировать лучшую надежность за счет использования векторов решетки.

Делегирование подписи. Дополнительно для делегирования подписи будем использовать протокол с нулевым разглашением. Криптосхемы с нулевым разглашением [3, 4] секрета лежат в основе процедур строгой аутентификации удаленных пользователей в информационно-телекоммуникационных системах. Протоколы такого типа основаны на некоторых вычислительно трудных задачах. Протоколы данного типа реализуют следующую обобщенную схему аутентификации удаленного пользователя А (доказывающий), который в ходе выполнения протокола демонстрирует знание решения некоторой вычислительно сложной задачи при некотором конкретном выборе значений ее параметров, которые играют роль открытого ключа (ОК) пользователя А. В ходе осуществления протокола пользователь А доказывает другому пользователю Б (который называется проверяющим), что он знает личный секретный ключ, связанный с ОК, владельцем которого является пользователь А (ОК пользователь Б узнает из справочника открытых ключей или цифрового сертификата, подписанных удостоверяющим центром). Имеются следующие виды построения протоколов с нулевым разглашением секрета:

- 1) реализация в форме многораундовой интерактивной процедуры,
- 2) в виде двухшаговой процедуры
- 3) в виде трехшаговой процедуры.

В протоколах каждого из этих типов проверяющий с заданным уровнем гарантии (задается низкое значение вероятности того, что нарушитель может обмануть проверяющего) убеждается, что доказывающий знает секрет, связанный с ОК пользователя А. Это соответствует тому, что удаленный пользователь А доказал свою подлинность. При этом в ходе протокола пользователь А не передает какой-либо информации о своем личном секрете (это подчеркивается термином нулевое разглашение).

Для построения известных протоколов с нулевым разглашением секрета использованы следующие вычислительно сложные задачи

- 1) нахождение дискретного логарифма в конечной циклической группе или конечном поле,
- 2) разложение целых чисел на простые множители,
- 3) извлечение квадратных корней по модулю, в качестве которого задается трудно разложимое число,
- 4) нахождение сопрягающего элемента в конечных некоммутативных группах и другие.

В данном разделе предлагается реализация протокола с нулевым разглашением секрета с использованием вычислительной трудности задачи нахождения дискретного логарифма в скрытой циклической подгруппе некоторой конечной некоммутативной группы Γ матриц размера 2×2 , определенных над простым полем $GF(p)$, характеристика которого (число p) имеет достаточно большой размер.

Пусть заданы две не перестановочные между собой матрицы G и U , причем порядок каждой из них является простым числом достаточно большого размера. В качестве личного секретного ключа генерируется пара случайных чисел (w, x) , где $w <$

$y; x < y$; y – значение порядка матриц G и U . В качестве ОК, связанного с секретным ключом (w, x) , задается матрица Y , которая вычисляется по формуле $Y = Uw^*(Gx)^*U^*w$.

Пусть ОК доказывающего является матрица Y , а его личным секретным ключом является пара чисел (w, x) . Предлагаемый протокол включает z -кратное выполнение следующего трехшагового раунда (Рисунок 5):

Проверяющий делает вывод о правильности ответа на его однобитовый запрос, если имеет место $Q = U^*u(G^*k)^*U^*u^*u^r$ (в случае $r = 1$) или $Q = U^*u(Y^*k)^*U^*u^*u^r$ (в случае $r = 0$). Вероятность того, что нарушитель может выдать себя за пользователя А в одном раунде, равна 0,5. Вероятность того, что нарушитель успешно ответит на случайные запросы проверяющего в каждом из z раундов, равна 2^{-z} . Выбором достаточно большого значения числа раундов можно добиться сколь угодно малой вероятности того, что нарушителя не удастся обнаружить.

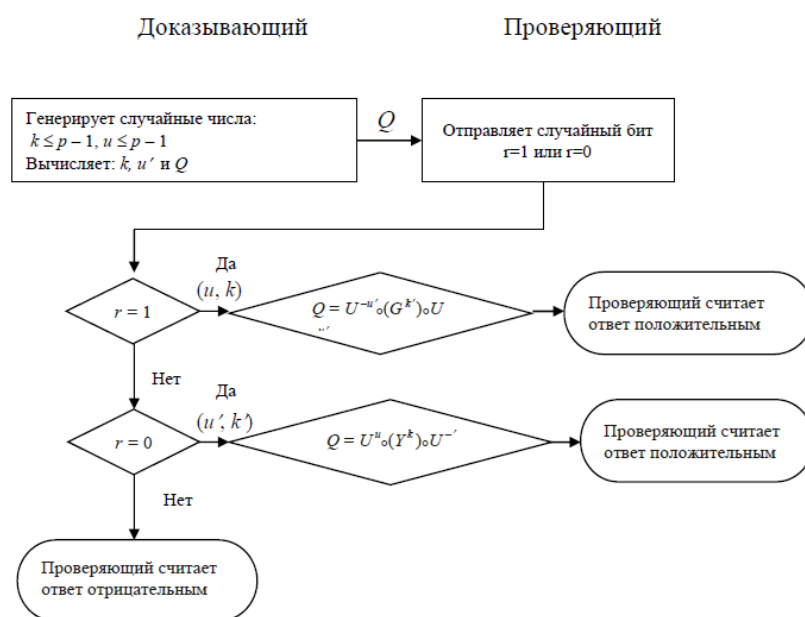


Рис. 5. Протокол включает z -кратное выполнение следующего трехшагового раунда

Нулевая утечка информации о секретном ключе доказывающего в ходе протокола обеспечивается тем, что получаемые проверяющим пары чисел являются равновероятными случайными значениями. Действительно, множество соотношений между случайными значениями, аналогичные соотношениям, получаемым проверяющим от доказывающего, доказывающий может сгенерировать самостоятельно.

Проверка безопасности подписи. Метод заключается в использовании случайного значения R ($R = a^k \bmod p$) из асимметричной схемы на основе задачи дискретного логарифмирования в качестве параметра r из постквантовой схемы, которое выбирается из некоторого случайного равномерного распределения. Соответственно, далее значение хэш-функции следует вырабатывать уже с новым параметром R .

С помощью данного метода можно добиться повышения быстродействия модифицированной схемы. Однако данный метод применим только для комбинирования задачи дискретного логарифмирования в разных полях со схемами теории решеток, использующими хэш-функцию, а не модель Фиата-Шамира.

Тестирование алгоритма ФАШ. Для проверки работоспособности и правильности выполнения, описанного выше алгоритма был разработан тестовый пример. Тестовый пример заключается в получении подписи и её проверки в соответствии с описанным алгоритмом.

Тестовый пример представляет собой заранее подготовленный набор входных данных. После выполнения операций генерации ключей и подписи сообщения получаем следующий результат:

```
PS F:\install\site\OpenServer\pythonAPP\FASH> python .\main.py

128 битный приватный ключ:
f = [7, 0, -4, -14, 13, 0, -8, 2, -5, 8, 2, 12, 9, -12, 7, 1, -17, 7, 2, 12, 10, -1, -2, -4, 8, -4, 12, -1, -5,
-7, 14, 14, 1, -16, 8, 0, -3, -6, -4, 1, 1, -4, -3, -1, -7, 18, -14, -9, 7, -3, 10, 0, -2, 3, -1, -21, -2, 9,
-15, 2, -9, -5, 11, 3, 8, 5, -1, 6, -12, 3, -12, -6, -1, -3, 2, 1, -7, -16, 5, 3, 10, -4, -4, 4, 5, 10, -9, 5,
-5, -11, 3, 0, 4, 1, 1, -1, -10, -10, 6, 2, 23, 1, 3, 11, 3, 2, -15, 5, 5, 1, -16, 5, -2, -8, 8, -16, 3, 11, -1
5, 0, 4, 4, -10, -7, 3, -5, -1, -10]
g = [5, 11, -12, -3, -6, -8, 5, 8, -9, -4, -12, 9, 4, 5, -9, 0, 1, 8, -2, 10, -14, -1, -19, 7, -1, 1, 6, 3, -13
, 11, 5, -8, 6, -11, 19, 4, 6, -12, 0, 7, 9, 5, 4, 6, 4, -1, -9, -4, -8, -9, -16, -4, -1, -7, 2, 1, -9, 1, -10,
8, -12, 3, -3, 2, -4, -4, 3, 1, 1, 6, 0, 5, 0, -15, -3, 1, -2, -15, 1, -7, -2, 0, -7, 6, 6, 4, 10, -5, -2, 10,
4, -7, 2, 8, -13, -1, 2, 5, 11, -2, 8, -3, 11, -4, -4, 6, 7, 5, -16, -1, -2, -13, -4, -3, 21, -12, 3, 5, -22,
3, 1, 6, 8, -3, -5, -2, 5, 10]
F = [-18, 48, 4, -10, -10, 29, 8, 45, 21, -69, -32, 23, -14, 35, 27, -9, 17, -34, 18, -5, -19, 0, 12, 26, 9, 51
, -5, 30, -22, -7, -7, -19, 14, -58, 15, 23, -13, 8, 41, 30, 26, 13, -2, -31, 6, -20, 31, 24, -28, -18, -20, 33
, 1, -2, 4, 17, 45, 4, -4, -5, -22, -46, 31, -19, 13, 9, -24, -12, 21, -2, -72, 48, 3, -10, 4, -5, 26, 20, -92,
-14, -13, -34, -25, -79, 9, 17, -3, -19, 11, 1, 10, -6, 63, -22, -35, 20, -4, 38, -19, -47, -76, 14, -10, -36,
19, -13, 15, 29, -32, 14, -26, 11, -6, -16, -20, 16, -18, 11, -10, -2, -10, 2, 13, 42, -21, 1, -17, 30]
G = [13, -12, 29, 22, -21, -7, 36, 83, -15, -14, -21, 25, -41, 83, -39, -24, -16, 1, 8, -15, 17, -38, -2, 43, -
12, -10, -24, 5, -33, 19, 13, -7, -9, -42, -30, -11, -17, 3, -31, -38, -5, 28, -2, -37, -14, 13, 26, 33, -12, 4
, -43, 28, 16, 45, 20, 5, -5, 32, 85, -22, 16, 18, -20, -27, -12, -16, -49, -20, 9, 4, 19, 8, -14, 31, 4, -26,
-18, 33, -37, -1, -57, 13, 39, -41, -45, -32, 14, 18, 19, -14, -13, -28, 24, -5, -15, -23, 7, -18, 33, 14, -11,
4, -55, 7, 57, -32, -2, -17, -29, 9, -3, 6, -4, 26, 11, 46, 22, -14, -57, 16, 0, 43, -24, -37, -11, 24, 10, 8]
```

Открытый ключ:
[11364, 6663, 471, 7445, 5730, 10349, 5766, 4953, 7029, 6483, 5619, 2365, 6903, 5213, 8329, 3260, 11814, 4222, 7853, 11460, 8990, 5337, 10989, 6174, 5729, 2295, 2626, 4404, 3259, 5599, 60, 11866, 9615, 3946, 6697, 3516, 67, 4273, 7848, 3979, 7856, 10192, 1513, 6179, 8807, 4425, 5618, 3314, 5653, 91, 4175, 4276, 643, 11217, 8982, 5680, 6114, 2131, 9012, 2817, 4833, 8783, 11195, 3380, 276, 8110, 452, 5078, 3502, 2000, 8069, 1720, 4732, 3057, 4156, 12163, 6407, 11697, 4236, 1815, 2985, 4700, 11811, 5109, 5600, 1660, 4119, 9030, 2569, 11700, 4284, 949, 6, 89, 3576, 768, 4796, 3456, 7469, 4263, 945, 10378, 8573, 10751, 5982, 10253, 6957, 1000, 4319, 8840, 10328, 6009, 10538, 6135, 3524, 2596, 2591, 6237, 10687, 3954, 8911, 11011, 12233, 9093, 8295, 7339, 2717, 6000, 9364]

Рис. 6. Результат выполнения операций генерации ключей и подписи

Тест показал успешную генерацию и проверку подписи (рисунок 7). Также при попытке модификации исходного сообщения и повторной проверке подписи -тест успешно показал некорректность данной подписи.

```
Подписываемое сообщение:
Он ошибся. Встретившись в Берне с пастором Шлагом, он понял, что
ничего еще не кончилось. Наоборот, он понял: все еще только начинается. Он
понял это, познакоившись с записью беседы, состоявшейся между Даллесом и
агентом СС Гогенлоз. Эту запись пастор получил через людей бывшего
канцлера Брюнинга. Враги говорили как друзья, и внимание их было
сосредоточено, в частности, на 'русской опасности'.
```

'А л е к с у. В дополнение к отправленным материалам о
переговорах Даллес - Вольф.
Препровождая при сем копию беседы Даллеса с полковником СС
князем Гогенлоз, считаю необходимым высказать следующие соображения:
1. Как мне кажется, Даллес не информирует полностью свое
правительство о контактах с СС. Видимо, он информирует свое
правительство о контактах с 'противниками' Гитлера. К таким ни
Гогенлоз, ни Вольф не относятся....

Подпись (s,S,h) = ('x9b^2Ei'y@x9cAA\x9aifu\x17p%ö}\x81\n)\x83yöcÜÄe\x8e+İ %ä\x82Ü', [[1, 81, 167, 41, 64,
-102, -2, 315, 66, 113, -92, 343, -229, 62, 158, -117, 208, -184, 60, -108, 73, -313, -157, -263, 43, 190, -27,
273, -254, -100, 288, -40, 39, -55, 214, 154, -336, -6, -95, 271, -27, -89, 135, 174, 35, 161, -237, -340, -43,
264, 340, -180, 107, -62, 13, 165, 41, -25, -207, -119, -10, 89, -126, 78, 14, -108, 82, -178, -111, -82, -68,
41, -21, 98, -45, 183, -103, 147, 120, 52, 255, 63, 213, -315, -175, -62, -162, 13, -290, -251, 150, -96, -24,
6, 3, 60, 114, -6, -45, -47, -180, -178, -41, 71, 16, -18, -95, -25, 240, -75, -205, -199, 367, -63, 88, -127,
27, 17, -103, 113, -18, -127, 188, 46, 269, 79, 164, 364], [-42, 156, 154, -137, 167, 51, -25, 211, -161, -44,
183, 9, 52, -281, 188, 36, 135, 49, -256, -189, -116, -101, -263, -213, 52, 188, 350, 139, 54, -10, 118, -266,
-111, 40, -15, -167, 3, 113, 57, 49, -116, -29, 122, 208, -117, -387, -8, 243, 77, -144, 105, -259, -48, -147,
243, 140, 66, 218, 115, -68, -55, 183, 174, 56, 163, -83, 298, 112, 80, -401, 68, 98, 19, 167, 285, -162, 27,
236, 4, 257, -230, 150, -64, -69, -142, -87, -157, 16, 82, -158, -129, -265, 466, -140, 207, 142, 204, -158, 9,
324, 253, 167, 28, -78, -200, 135, -117, -25, 39, 57, 311, -270, 124, -210, 224, -221, 98, 146, 384, 143, -14,
5, -63, -130, -106, -295, -236, -20, 361]], [409890408994413041665919999186515894553788729866976227785504675296
81893376914, 105134018271621444378798172404166260891455889930926152839247866254520821228019]

Проверка подписи: подпись корректная - принимается

Проверка модифицированного сообщения: подпись некорректная - отвергается

Рис. 7. Генерация и проверка подписи

Выводы. Разработана схема и алгоритм электронной подписи, полученные методом встраивания элементов одной схемы электронной подписи в другую, вследствие чего достигается защита, позволяющая фиксировать лучшую надежность за счет использования векторов решетки.

В ходе проведенных тестовых экспериментов показано, что встраивание RSA-модуля в схемы электронной подписи на основе теории решеток и эллиптических кривых по отдельности не приводит к повышению стойкости этих схем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романец Ю. В. Защита информации в компьютерных системах и сетях / Ю. В. Романец, П. А. Тимофеев, В. Ф. Шаньгин. – Москва : Радио и связь, 1999. – 328 с.
2. Rivest R. A method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems / R. Rivest, A. Shamir, L. Adleman // Commun. ACM — New York City: ACM, 1978, Vol. 21, Iss. 2, P. 120–126, ISSN 0001-0782; 1557-7317 — doi:10.1145/359340.359342.
3. OAuth 2.0 : [Сайт]. – URL: <https://oauth.net/2/> (дата обращения: 08.04.2020). – Текст : электронный.
4. О применении стеганографических методов для аутентификации сигналов, содержащих речевое сообщение / Е. Г. Жиликов, П. Г. Лихолоб, Я. В. Цыбина, Е. С. Лихогодина // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. – 2017. – Т. 42, № 9 (258). – С. 187-197.

Поступила в редакцию 26.06.2020 г.

DESIGNING A PUBLIC KEY INFRASTRUCTURE

Kozhekina E.N., Voloshin A.G.

In this paper, a generalized method is proposed for combining two electronic signature schemes, one of which is an asymmetric scheme based on the mathematical apparatus of Galois fields, and the other scheme is based on the theory of lattices. An authentication protocol based on a combined solution to the problem has an increased level of security.

Keywords: digital signature, asymmetric scheme, lattice theory, Galois fields.

Кожекина Елена Николаевна

ст. преподаватель кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: kokekina-lena@yandex.ru

Kozhekina Elena Nikolaevna

Senior Lecturer at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

Волошин Александр Григорьевич

студент кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: silentpirate@mail.ru

Voloshin Alexander Grigorievich

Student of the Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

УДК 65.011.56

ОПТИМИЗАЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАДУИРОВОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ NTC - ТЕРМИСТОРА ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

© 2020 Пометун Е.Д., Беззуб А.А.

В работе представлены теоретические градуировочные R/T характеристики NTC – термистора типа Epcos G550. Приведена методика оптимизации аппроксимирующей функции теоретической градуировочной характеристики для термистора Epcos G550, основанная на учете зависимости градуировочного коэффициента B от температуры. Выполнена оценка погрешностей при аппроксимации R/T характеристики с использованием постоянного градуировочного коэффициента, приведенного в технической документации к термистору, и оптимизированного коэффициента, как функции от сопротивления термистора.

Ключевые слова: термистор, градуировочная характеристика, неизотермический газовый поток.

Введение. Широкое использование термисторов в качестве первичных измерительных преобразователей температуры в различных областях науки, техники и в быту объясняется их большим температурным коэффициентом сопротивления (ТКС), малой инерционностью и сравнительно низкой стоимостью. К числу недостатков традиционно относят: нелинейность температурной зависимости сопротивления и отсутствие взаимозаменяемости из-за большого разброса номинального сопротивления и ТКС [1].

Целью данной работы является оптимизация аппроксимирующей функции табличной (градуировочной) R/T характеристики NTC – термистора типа Epcos G550 с переменным показателем экспоненты, зависящим от сопротивления термистора при автоматизации процессов измерения нестационарной температуры газового потока.

Основная часть. Среди существующих разнообразия термисторов, хорошими метрологическими характеристиками обладают NTC - термисторы фирмы Epcos, покрытые защитной стеклянной оболочкой: G550, G560 и т.д. Отличительной особенностью данных типов термисторов является широкий температурный диапазон использования ($-55 \div 300^\circ\text{C}$). В технической документации рекомендуется вычисление параметров R/T характеристики по табличным температурным коэффициентам, приведенным с дискретностью 5°C [1]. В случае использования во всем температурном диапазоне аналитического уравнения с постоянными коэффициентами показателя экспоненты точность аппроксимации градуировочной характеристики значительно ухудшается. В данной работе рассмотрен способ вычисления температуры термистора по приведенному в таблице электрическому сопротивлению, основанный на оптимизации аналитического представления R/T характеристики во всем температурном диапазоне.

R/T характеристика может быть представлена в виде нескольких видов аналитических аппроксимирующих функций [2]. Наиболее простым и широко используемым является соотношение вида:

$$R_t = R_0 \cdot e^{\frac{B \cdot (T_0 - T)}{T_0 \cdot T}}, \quad (1)$$

где B – коэффициент, T – температура, R_0 – сопротивление термистора при T_0 , R_t – сопротивление термистора при температуре T , T_0 – номинальная температура.

Электрическое сопротивление термистора по уравнению (1) описывается экспоненциальной функцией с двумя постоянными коэффициентами B и R_0 , индивидуальными для каждого термистора.

График, построенный на основе табличной градуировочной характеристики для термистора Ersos G550 (8401) приведен на рисунке 1.

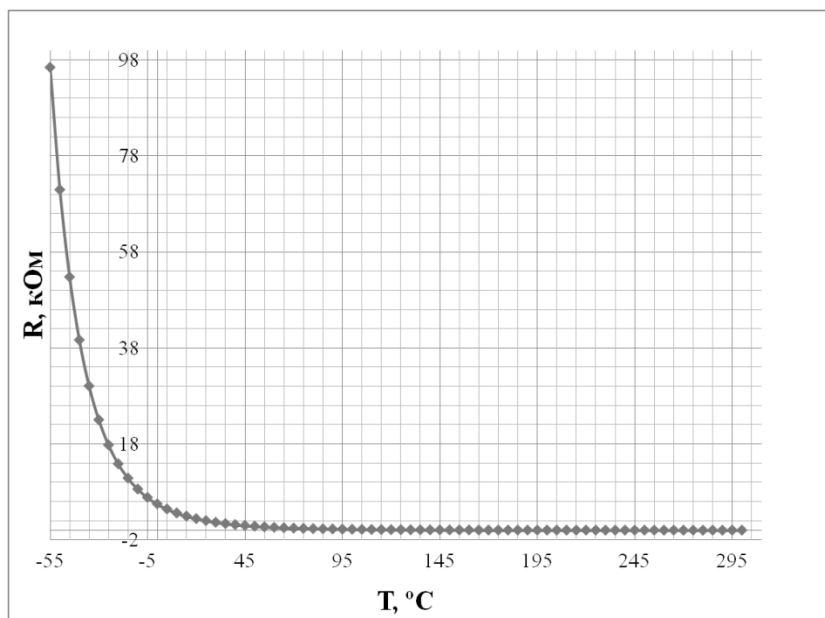


Рис. 1. Табличная градуировочная характеристика

Использование для расчета температуры по соотношению (1) с постоянным коэффициентом $B_{0/100} = 3390$ во всем диапазоне температур ($-55 \div 300$ °C) приводит к возникновению значительной погрешности. На рисунке 2 представлен график зависимости абсолютной погрешности от температуры термистора.

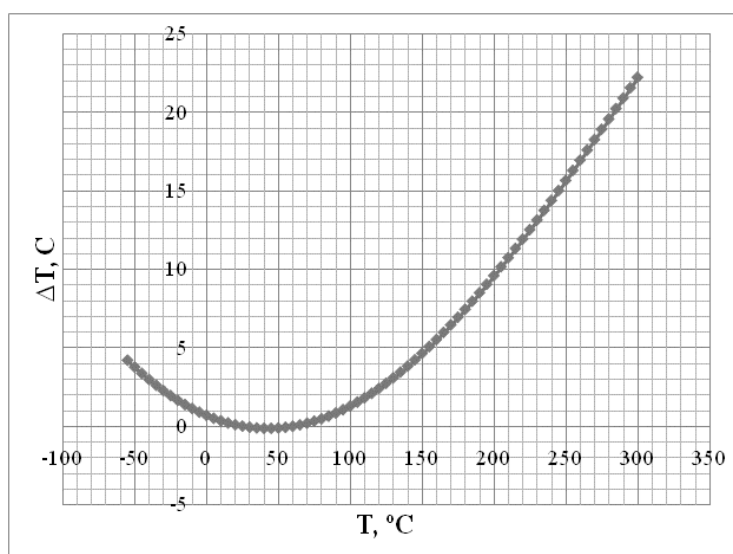


Рис. 2. Погрешность, возникающая при использовании уравнения аппроксимации (1)

Как видно графика (рис.2) величина погрешности аппроксимации по соотношению (1) имеет минимальное значение в диапазоне, рекомендованного значения B ($-0 \div 100^\circ\text{C}$) и резко увеличивает на границах рабочего диапазона термистора. Например, при температуре 300°C величина погрешности составляет около 22°C . Т.о., измерение температуры с использованием уравнения (1) с постоянными коэффициентами становится некорректным.

В данной работе рассмотрен способ уменьшения погрешности, основанный на записи коэффициента экспоненты B в виде функции, зависящей от величины электрического сопротивления термистора R_t . Вычислим значение B для каждого табличного значения температуры по соотношению:

$$B = \frac{T_0 \cdot T}{T_0 + T} \cdot \ln\left(\frac{R_t}{R_0}\right). \quad (2)$$

Используя полученные значения B построим график зависимости $B = f(R_t)$ и определим явный вид этой функции.

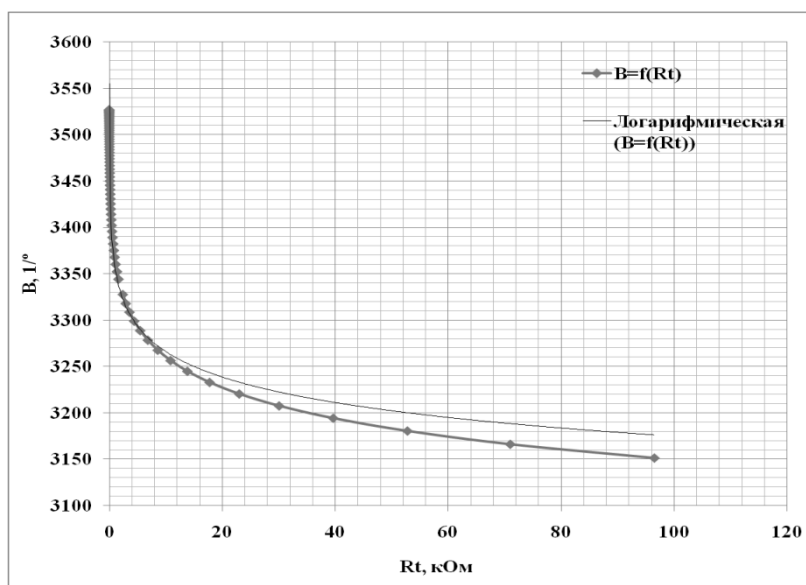


Рис. 3. Зависимость $B = f(R_t)$

Как видно из рис.3 аппроксимация нелинейности коэффициента B одной функцией некорректна и приводит к появлению значительной погрешности. Было принято решение разделить рабочий диапазон на два участка: $-55 \div 60^\circ\text{C}$ и $65 \div 300^\circ\text{C}$, или, соответственно: $96 \div 0.6$ кОм и $0.5 \div 0.007$ кОм. На первом участке (диапазон температур $-55 \div 60^\circ\text{C}$) максимальную точность аппроксимации (среди простых функций) обеспечивает логарифмическая зависимость вида:

$$B = 3367.9 - 47.04 \cdot \ln(R_t). \quad (3)$$

Таким образом, оптимизированное уравнение (1) в диапазоне температур $-55 \div 60^\circ\text{C}$ принимает вид:

$$R_t = R_0 \cdot e^{\left[(3367.9 - 47.04 \cdot \ln(R_t)) \left(\frac{T_0 - T}{T_0 \cdot T} \right) \right]}. \quad (4)$$

Величина погрешности при вычислении температуры по соотношению (4) для табличных значений R_t приведена на рисунке 4.

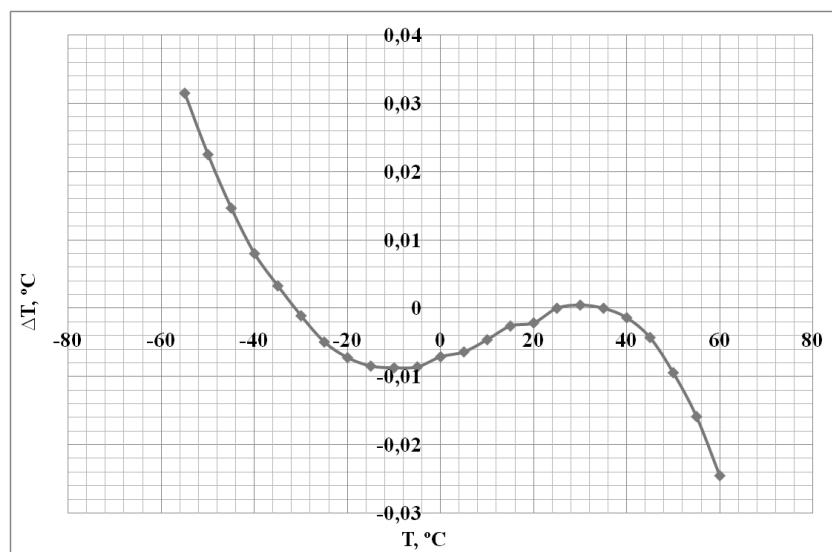


Рис. 4. Погрешность аппроксимации в диапазоне температур $-55 \div 60^\circ\text{C}$ при использовании логарифмической функции

Внутри диапазона $-40 \div 50^\circ\text{C}$ величина погрешности не превышает $\pm 0.01^\circ\text{C}$, и на краях диапазона – погрешность увеличивается до $\pm 0.03^\circ\text{C}$.

Как показал анализ, логарифмическая зависимость вида (3) при температуре выше 60°C приводит к увеличению погрешности аппроксимации. В качестве аппроксимирующей функции было принято решение в диапазоне $65 \div 300^\circ\text{C}$ использовать полиномиальную регрессию со степенью не ниже 4:

$$R_t = R_0 \cdot e^{\left[\left(\sum_{n=0}^m B_n \cdot R_t^n \right) \left(\frac{T_0 - T}{T_0 \cdot T} \right) \right]}, \quad (5)$$

где m - степень полинома.

Погрешность, при расчете температуры термистора по соотношению (5) в диапазоне $65 \div 300^\circ\text{C}$, представлена на рисунке 5.

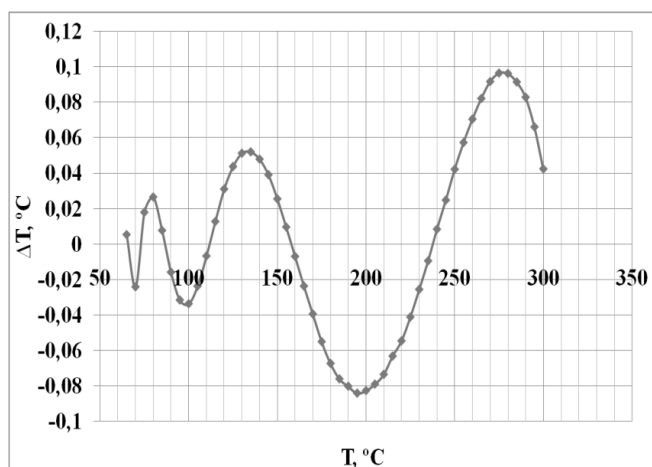


Рис. 5. Погрешность аппроксимации в диапазоне температур $65 \div 300^\circ\text{C}$ при использовании полиномиальной регрессии для $m = 5$

При использовании полиномиальной регрессии погрешность принимает максимальное значение вблизи края диапазона (300°C) и составляет $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.

Заключение.

1. Приведена методика оптимизации аппроксимирующей функции теоретической градуировочной характеристики для термистора *Epcos G550*, основанная на учете зависимости градуировочного коэффициента B от электрического сопротивления термистора.
2. Выполнена оценка погрешностей при аппроксимации R/T характеристики с использованием постоянного градуировочного коэффициента, приведенного в технической документации к термистору, и оптимизированного коэффициента, как функции от сопротивления термистора.
3. Полученные результаты могут быть использованы в системах автоматизированного управления температурой с помощью термисторов *Epcos G550* в диапазоне $-55 \div 60^{\circ}\text{C}$ с погрешностью не более $\pm 0.03^{\circ}\text{C}$ и в диапазоне $65 \div 300^{\circ}\text{C}$ с погрешностью не более $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Термисторы *Epcos*. Характеристики. URL: https://en.tdk.eu/inf/50/db/ntc_09/Glass_enc_Sensors__B57550__G550__G1550.pdf (дата обращения: 21.02.2018). – Текст : электронный.
2. Кузнецов Д. Н. Исследование некоторых функций аналитического описания экспериментальных градуировочных характеристик термисторов / Д. Н. Кузнецов, В. Н. Лебедев, Ю. Д. Украинский // Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы : материалы восьмого международного научно-практического семинара, 17–20 апреля 2007 год, г. Донецк. – Донецк ; Таганрог, 2007. – Т. 3. – С. 104-108.

Поступила в редакцию 14.07.2020 г.

OPTIMIZATION OF DETERMINATION OF THE NTC - THERMISTOR GRADING CHARACTERISTIC AT AUTOMATION OF MEASUREMENTS OF NON-STATIONARY TEMPERATURE

The paper presents the theoretical calibration $R \setminus T$ characteristics of the NTC thermistor type Epcos G550. A method for optimizing the approximating function of the theoretical calibration characteristic for the Epcos G550 thermistor based on the temperature dependence of the calibration coefficient B is presented. Errors were estimated during approximation of the $R \setminus T$ characteristics using a constant calibration coefficient given in the technical documentation for the thermistor and an optimized coefficient as a function of the resistance of the thermistor.

Keywords: thermistor, calibration, approximation, temperature.

Пометун Екатерина Дмитриевна

старший преподаватель кафедры физики неравновесных процессов метрологии и экологии им. И.Л. Повха ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: alternativa19031992@rambler.ru

Pometun Ekaterina Dmitrievna

Lecturer at Department of Physics of nonequilibrium, Metrology and Ecology Processes named after I.L. Povkha Technologies of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

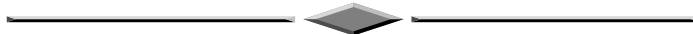
Беззуб Александра Андреевна

аспирант кафедры физики неравновесных процессов метрологии и экологии им. И.Л. Повха ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: apilpec@mail.ru

Bezzub Alexandra Andreevna

Postgraduate student at Department of Physics of nonequilibrium, Metrology and Ecology Processes named after I.L. Povkha Technologies of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА



УДК 669.18:001.891.54

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АГРЕГАТЕ КОВШ-ПЕЧЬ.

© 2020 Беззуб А.А., Белоусов В.В., Недопёкин Ф.В., Бондаренко В.И., Бодряга В.В.

Данная статья посвящена вопросам моделирования гидродинамических и теплофизических процессов в агрегате ковш-печь АКП. В настоящей работе представлены физическая и математическая модели процессов переноса в АКП. Выбран и обоснован метод численной реализации, а также представлены результаты численного моделирования.

Ключевые слова: агрегат ковш-печь, численное моделирование, конечно-разностная сетка, естественная и вынужденная конвекция.

Введение. В современной металлургии ковш-печь - это агрегат, который входит в составную и неотъемлемую часть конструкции установок внепечной обработки (доводки) стали, где проходят технологические операции по доводке стали, такие как раскисление, легирование, десульфурация, гомогенизация, вакуумирование и прочие процессы. Продувка (барботажа) металла в ковш-печи с целью его гомогенизации по составу и температуре находит в современной металлургии все более широкое применение. Возникающие в агрегате гидродинамические и теплофизические процессы недостаточно изучены, что приводит к выбору неверных дутьевых режимов, а, следовательно, и к снижению качества отпускаемой продукции. Поэтому, изучение характера гидродинамических потоков при перемешивании расплава представляет большой интерес для ковшевой металлургии.

Однако, несмотря на широкое внедрение агрегата ковш-печь (АКП) в производстве, существуют ряд проблем, решение которых существенно влияет на качество металла и износостойкостью самого агрегата. Решение этих проблем путем лабораторного или промышленного эксперимента не эффективно и затратно. Поэтому, целью данной работы является формулировка математической модели и вычислительного алгоритма расчета и теплофизических процессов в ванне АКП.

Постановка задачи. В представленной работе рассматривается сталеразливочный ковш с вместимостью – 60 т. жидкой стали, с начальной температурой футеровки – 900 °С, начальной температурой жидкого металла в ковше – 1600 °С. Процесс наполнения жидкой сталью не рассматривается. Ведется учет воздействия конвективного теплообмена с окружающей средой, учитывается температура окружающей среды. Теплоизоляция сталеразливочного ковша представляет собой систему из пяти слоев – четыре из которых теплоизоляционных, а пятый – стальная основа – броня.

Несимметричность расположения пробок не позволяет решать задачу в цилиндрических координатах. Поэтому, для генерации сетки выбраны декартовы координаты, подбором шагов в торцевых частях области аппроксимировалось основание цилиндра. Расчетная область представлена на рисунке 1, а, б, в, г.

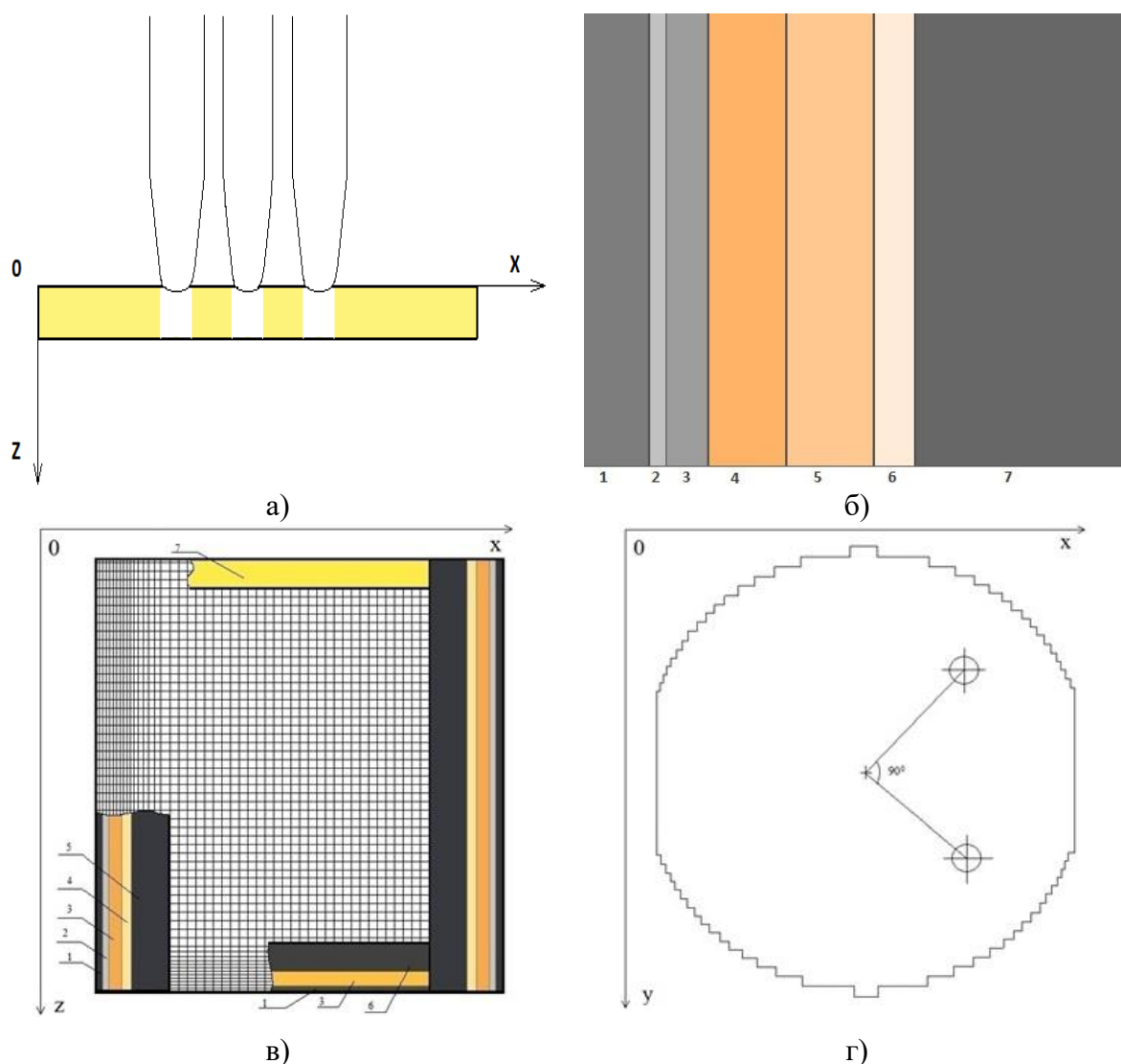


Рис. 1. Расчётная область а) шлака- вид сбоку; б) области стенок сталь- ковш. 1-броня, 2-теплоизоляционная бумага, 3-теплоизоляционные маты, 4-теплоизоляционный кирпич, 5- арматурный слой, 6-магнезит, 7-рабочая ПУ футеровка; в) область в плоскости z-x. 1-броня, 2-теплоизоляционная бумага, 3-арматурный слой, 4-магнезит, 5-рабочая ПУ футеровка, 6-бетон, 7-шлак; г) область в плоскости x-y.

Гидродинамические и теплофизические процессы в сталеразливочном ковше описываются [1]:

Уравнением теплопроводности:

$$c\rho \left[\frac{\partial T}{\partial t} + \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) \right] = \lambda \Delta T. \quad (1)$$

Уравнением Навье-Стокса в трех компонентах и уравнением неразрывности:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial uw}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right); \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial vw}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right); \quad (3)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial uw}{\partial x} + \frac{\partial vw}{\partial y} + \frac{\partial w^2}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + \vec{g} \beta \Delta T + \vec{g} \beta_{\Gamma}; \quad (4)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \quad (5)$$

где c – теплоемкость при постоянном давлении, Дж/кг; ρ – плотность расплава, кг/м³; T – текущая температура, 0С; t – текущее время; u, v, w – компоненты скорости вдоль координат x, y, z соответственно, м/с; λ – коэффициент теплопроводности, Дж/кгК; P – давление, Н/м²; g – ускорение свободного падения, м/с²; β – коэффициент объемного расширения, 1/К; β_{Γ} – коэффициент газосодержания, определенный в работе [2].

На внутренних стенках АКП выполняется условия прилипания и непроницаемости для компонент скорости. Между теплоизолирующими слоями стенок АКП выполняются граничные условия 4 рода:

$$\lambda_i \frac{\partial T}{\partial n} = \lambda_{i+1} \frac{\partial T}{\partial n}, T_i = T_{i+1}, \quad (6)$$

где: λ_i – коэффициент теплопроводности i -го слоя футеровки, Вт/м·К.

На внешней границе стенок АКП выполняются граничные условия вида:

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = -\alpha(T_{\delta} - T_{cp}), \quad (7)$$

где: T_{δ} – температура брони; T_{cp} – температура окружающей среды; α – коэффициент теплообмена. Коэффициент α находится по формуле М.А. Михеева $Nu = C(Gr Pr)^n$ [3].

В ранее созданной математической модели получено распределение начальной температуры в многослойной конструкции ковша [4]. Это распределение представлено на рис. 2.

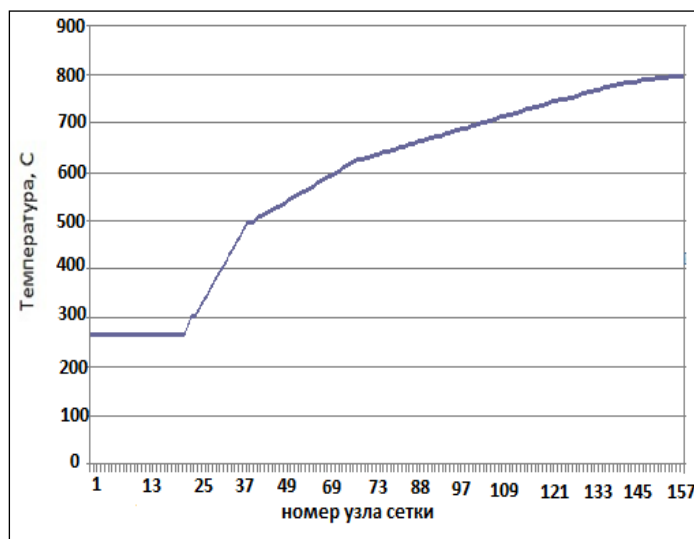


Рис. 2. Распределение температуры в футеровке сталь-ковша после 24 часового прогревания на сушке [4]

В основе метода решения лежит «двухполевой метод» или вихрь ω – функция тока ψ . Из уравнений (2) – (4) исключается давление. Для этого: первое уравнение дифференцируется по y , второе уравнение по x , и вычитается из второго уравнения

первое; дифференцируется первое уравнение по z , а третье уравнение по x , вычитается из первого уравнения третье; дифференцируется второе уравнение по z , а третье уравнение по y , вычитается из третьего уравнения второе.

Вектор вихря определяется следующим образом:

$$\omega = \nabla \times \vec{V}; \quad (8)$$

или (в покомпонентной записи через орты i, j, k) в виде: $\omega = \omega_x \vec{i} + \omega_y \vec{j} + \omega_z \vec{k}$, где:

$$\omega_x = \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z}; \quad \omega_y = \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x}; \quad \omega_z = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}. \quad (9)$$

Затем решается уравнение для вихря скорости [1]. Значения скорости определяются из решений трех уравнений Пуассона, которые легко выводятся из уравнения неразрывности (5) с учетом определения вихря скорости (8) $\nabla^2 \vec{V} = \nabla \times \omega$, или в скалярной форме:

$$\Delta u = \frac{\partial \omega_z}{\partial y} - \frac{\partial \omega_y}{\partial z}; \quad \Delta v = \frac{\partial \omega_x}{\partial z} - \frac{\partial \omega_z}{\partial x}; \quad \Delta w = \frac{\partial \omega_y}{\partial x} - \frac{\partial \omega_x}{\partial y}. \quad (10)$$

Граничные условия для вихря скорости следующие:

- условия непроницаемости и прилипания при $x = const$ с учетом условий (9) записываются в виде: $\omega_x = 0$; $\omega_y = -\partial w / \partial x$; $\omega_z = -\partial v / \partial x$;

- условия непроницаемости и прилипания при $y = const$:

$$\omega_x = \partial w / \partial y; \quad \omega_y = 0; \quad \omega_z = -\partial u / \partial y;$$

- условия непроницаемости и прилипания при $z = const$:

$$\omega_x = -\partial v / \partial z; \quad \omega_y = \partial u / \partial z; \quad \omega_z = 0;$$

Наиболее приемлемый метод решения уравнений переноса, применяемый для широкого класса задач механики сплошных сред – метод конечных разностей (метод сеток). В данном методе область непрерывного изменения аргумента заменяется конечным дискретным множеством точек (узлов), которые образуют пространственно-временную разностную сетку [5].

Применение неявной разностной схемы для уравнений переноса позволит повысить устойчивость алгоритма, а также увеличить допустимые значения шага Δt . Несмотря на то, что при переходе к неявным аппроксимациям увеличивается время счета на каждом слое, общий расчет машинного времени сокращается из-за уменьшения числа расчетных слоев. Неявные схемы имеют более сложную конструкцию, чем явные, поэтому требуют дополнительных усилий при разработке схемы и ее отладке на ЭВМ. Данная схема перспективна в первую очередь для решения стационарных задач по методу установления и при расчете крупномасштабных нестационарных процессов, когда выбор большого шага по времени не противоречит физическому смыслу.

Наиболее эффективные неявные методы, основаны на идее экономичных методов [5], позволяющих свести решение многомерных задач к решению последовательности одномерных задач, записанных в форме возмущенного оператора и разности против потока [1]. Один из популярнейших методов решения стационарных уравнений (Пуассона) – метод установления [6]. Задача реализовалась на языке Delphi на конечно разностной сетке $100 \times 100 \times 100$.

Результаты численного моделирования. На рис. 3 представлена динамика нагрева шлака в агрегате ковш-печь (АКП) в плоскостях XZ (правый рисунок) и YZ (левый рисунок) в центральной части.

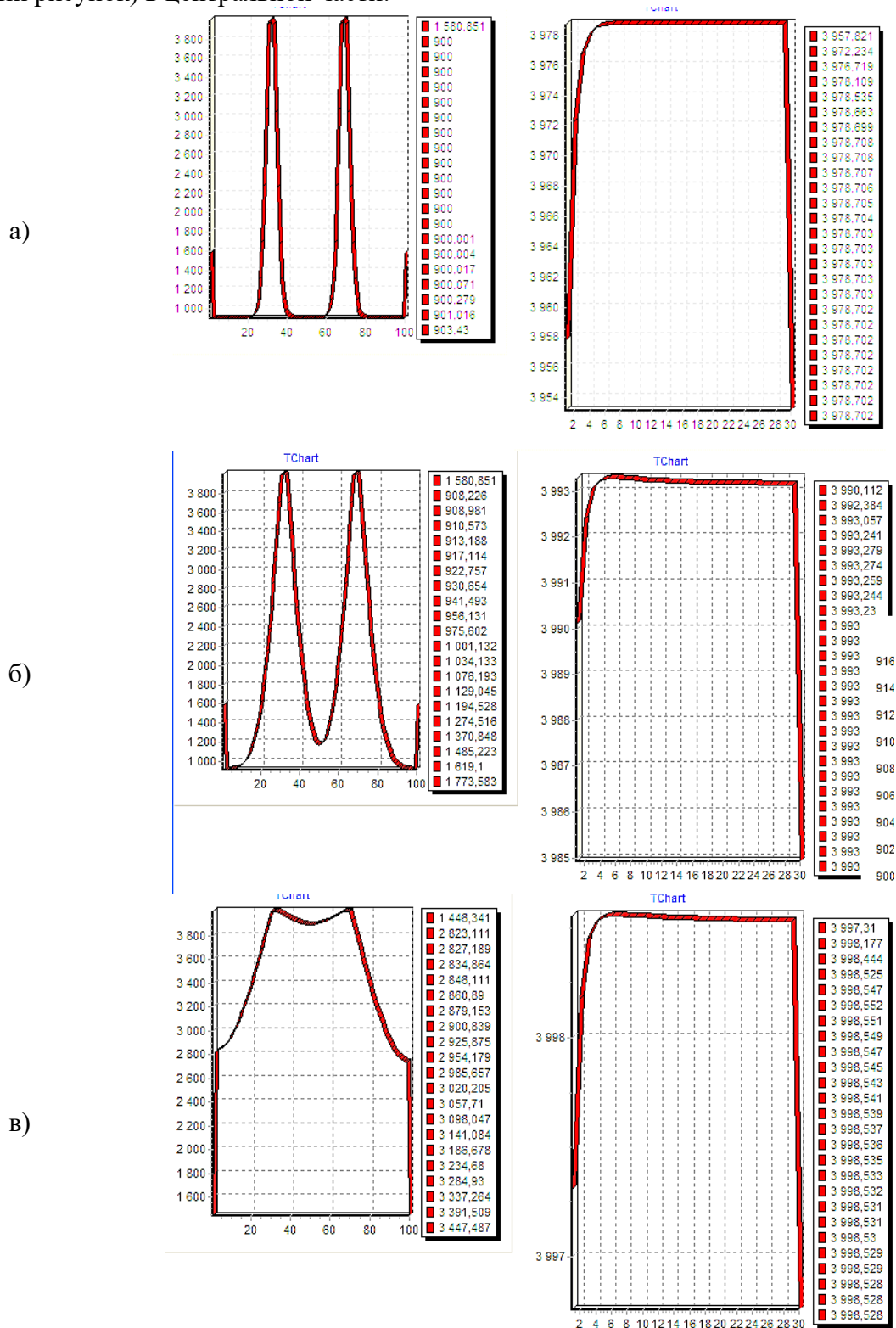


Рис. 3. Распределение температуры в плоскостях XZ (правый рисунок) и YZ (левый рисунок) в центральной части в момент времени 10 с., 5 мин. и 10 мин.

Три электрода, расположенные в верхней части АКП, погруженные в шлак, уже в первые секунды показывают четкую границу нагрева. Через время, зона активного нагрева увеличивается, а уже через 10 минут жидкий шлак накрывает всю зону, выполняя функцию не только нагревателя расплава, но и рафинирования расплава, поэтому неметаллические включения, имеющиеся в расплаве, могут быть задержаны в шлаковой области.

Полученные результаты заставляют задуматься, а если рассчитать такие режимы нагрева электрода, которые бы позволили временно отключать подачу электроэнергии. На рис. 4 показано распределение температуры для нескольких режимов нагрева электродов. Для этого рассматривалась интегральная температура на границе расплав – шлак.

$$T_{in} = \int \int_{x y} T dx dy. \quad (11)$$

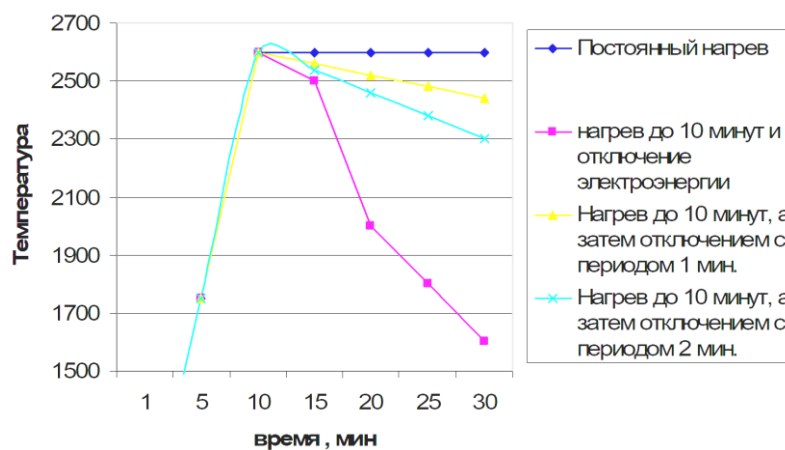


Рис. 4. Распределение температуры для нескольких режимов нагрева электродов

Из представленной диаграммы видно, что если нагреть шлак до определенной температуры, а затем его не подпитывать электроэнергией, то он начинает остывать за счет конвективного перемешивания, вызванного барботажем. Другие два режима с периодическим отключением и включением электродов показали, что температура нижней поверхности шлака гораздо выше температуры плавления стали.

Выводы. Таким образом, разработанная математическая модель нагрева шлака в АКП в дальнейшем может позволить сократить экономические затраты и упростить процессы выплавки стали. Полученные результаты численного моделирования могут позволить создать универсальную программу мониторинга гидродинамических и тепломассообменных процессов в АКП.

*Авторы выражают глубочайшие соболезнования всем родным и близким по поводу кончины доктора технических наук, профессора **Белоусова Вячеслава Владимировича** и доктора технических наук, профессора **Недопёкина Фёдора Викторовича**. Человек всегда жив, пока жива память о нем, а память о нём останется надолго в наших сердцах.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Затвердевание металлов и металлических композиций : учебник / В. А. Лейбензон, В. Л. Пилюшенко, В. М. Кондратенко [и др.] ; НАН Украины, Национальная металлургическая академия Украины ; Донецкий национальный университет [и др.]. — Киев : Наук. думка, 2009. — 411 с.
2. Белоусов В. В. Численное моделирование процессов перемешивания при продувке ванны агрегата «ковш-печь» / В. В. Белоусов, Е. И. Куликов, В. Ф. Комаров // Математичне моделювання. — 2007. — № 2 (17). — С. 61-63

3. Белоусов В. В. Основы тепломассопереноса и теплофизика замкнутых объемов / В. В. Белоусов, Н. И. Болонов. – Донецк : Юго-Восток, 2003. – 135 с.
4. Белоусов В. В. Математическая модель гидродинамических и тепломассобменных процессов в агрегате ковш – печь / В. В. Белоусов, В. И. Бондаренко, Ф. В. Недопекин [и др.] // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2017. – № 1 (76). – С. 20-27.
5. Тихонов А. Н. Уравнения математической физики / А. Н. Тихонов, А. А. Самарский. – Москва : Наука, 1977. – 736 с.
6. Затвердевание металлических композиций: производство и моделирование / В. В. Белоусов, Ф. В. Недопекин, В. А. Лейбензон [и др.]. – Донецк : Юго-Восток, ЛТД, 2005. – 231 с.

Поступила в редакцию 21.06.2020 г.

MODELING OF HYDRODYNAMIC AND THERMOPHYSICAL PROCESSES IN THE LADLE-FURNACE

Bezzub A.A., Belousov V.V., Nedopekin F.V., Bondarenko V.I., Bodryaga V.V.

This article is devoted to the problems of modeling hydrodynamic and thermophysical processes in the ladle-furnace assembly of the automatic gearbox. This paper presents the physical and mathematical models of transport processes in the automatic transmission. Results of numerical simulation.

Keywords: ladle-furnace assembly, numerical simulation, finite-difference grid, natural and forced convection.

Беззуб Александра Андреевна

аспирант кафедры физики неравновесных процессов метрологии и экологии им. И.Л. Повха ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: apilipец@mail.ru

Bezzub Alexandra Andreevna

Postgraduate student at Department of Physics of nonequilibrium, Metrology and Ecology Processes named after I.L. Povkha Technologies of Donetsk National University,
DPR, Donetsk.

Белоусов Вячеслав Владимирович

доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой физики неравновесных процессов, метрологии и экологии им. И.Л. Повха, ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: v.v.bilousov@gmail.com

Belousov Vyacheslav Vladimirovich

Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Head of the Department Physics of Nonequilibrium Processes, Metrology and Ecology named I.L. Povkh of Donetsk National University,
DPR, Donetsk.

Недопёкин Федор Викторович

доктор технических наук, профессор кафедры физики неравновесных процессов, метрологии и экологии им. И.Л. Повха, ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: f.nedopekin@gmail.com

Nedopekin Fedor Viktorovich

Doctor of Technical Sciences, Professor at Department Physics of Nonequilibrium Processes, Metrology and Ecology named I.L. Povkh. of Donetsk National University,
DPR, Donetsk.

Бондаренко Виталий Иванович

кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: vitbond@gmail.com

Bondarenko Vitaliy Ivanovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at Department Computer Technologies of Donetsk National University,
DPR, Donetsk.

Бодряга Виктор Викторович

старший преподаватель кафедры компьютерных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: angel0se@gmail.com

Bodryaga Victor Viktorovich

Senior Lecturer at Department Computer Technologies of Donetsk National University,
DPR, Donetsk.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

УДК 532.542.4:502.36

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИ-АКТИВНЫЕ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ СТРОИТЕЛЬСТВА

© 2020 Золотарёва И.А., Симоненко А.П., Погоржельский Е.С., Ковалёв В.В.

Настоящая статья составлена на основе результатов многолетних исследований, посвященных применению гидродинамически-активных высокомолекулярных полимеров (ВМП), мицеллообразующих поверхностно-активных веществ (МПАВ) и композиций на их основе для снижения гидродинамического сопротивления турбулентного течения (ГСТТ) жидкостей в напорных трубопроводах, определения влияния гидродинамически-активных добавок (ГДАД) на геометрические и динамические параметры жидкостных струй, улучшения виброакустических характеристик (ВАХ) гидравлических систем, а также для решения ряда актуальных практических задач энергосбережения, экологии, техногенно-экологической безопасности на объектах строительства и городского хозяйства.

Ключевые слова: гидродинамически-активные добавки, энергосбережение, экологическая безопасность, объекты строительства, городское хозяйство.

Постановка проблемы. Недостаточная эффективность, с экологической точки зрения, технологий и технических средств по предупреждению и ликвидации последствий стихийных бедствий и техногенных катастроф, угрожает национальной безопасности даже развитым странам мира.

Значительная часть электроэнергии используется в трубопроводном транспорте (тепло- и холодоснабжение, нефте- и продуктопроводы, системы канализации и водоотведения, гидротранспорт сыпучих материалов и т.д.). Особое место занимают гидравлические системы, эксплуатация которых, с целью жизнеобеспечения населения, предупреждения и ликвидации последствий аварий и катастроф происходит в чрезвычайных ситуациях с ограниченными энергоресурсами. В таких системах большая часть энергии расходуется на преодоление сил ГСТТ [1].

Важным резервом для решения вышеуказанных проблем может стать применение водорастворимых ВМП и МПАВ, которые обладают рядом уникальных физико-химических свойств. Так, например, композиции на основе ВМП могут использоваться для снижения ГСТТ, в процессах флокуляционной очистки сточных вод от взвешенных твердых примесей, в управлении скоростью биохимических реакций разложения органических отходов, при фильтрации жидкостей через пористые загрузки, создании защитных пленок при транспортировке сыпучих материалов открытым транспортом и т.д., что свидетельствует об актуальности и перспективах развития данного направления.

Цель статьи - обобщение научных результатов, посвященных применению гидродинамически-активных ВМП, МПАВ и композиций на их основе для решения проблем энергосбережения и экологической безопасности на объектах строительства и городского хозяйства.

Анализ достижений и публикаций, научная новизна. Многочисленными исследованиями, выполненными у нас в стране и за рубежом, показано, что из всех известных водорастворимых ВМП наибольшую гидродинамическую эффективность проявляют полиэтиленоксид (ПЭО) и полиакриламид (ПАА), которые при содержании в растворе равном ($5 \cdot 10^{-5}$ - 10^{-2}) вес.% обеспечивают снижение ГСТТ в трубах на 60-80 % (эффект Томса). Кроме полимеров высокую гидродинамическую эффективность также проявляют мицеллообразующие ПАВ [2-4], затвердевшие частицы и кристаллогидраты транспортируемых жидкостей, суспензии различных минералов, волокон и т.д.

На сегодняшний день, несмотря на высокую эффективность, явление снижения ГСТТ добавками ПЭО и ПАА не получило должного практического применения. Это связано со сложностями приготовления из них в больших количествах растворов с максимальным сохранением молекулярной массы и потерей такими растворами в процессе хранения свойства уменьшать турбулентное трение воды.

В ДонНУ [5] разработаны полимерные материалы, которые могут использоваться в виде: однородных концентрированных растворов, приготовленных по классической схеме; высококонцентрированных полимерных гелей; жидких водорастворимых полимерных композиций – ЖВПК (равноплотных тонкодисперсных суспензий, тонкодисперсных паст, жидких композиций с повышенным содержанием полимера); твердых водорастворимых полимерных композиций – ТВПК (ультраслабых, легкорастворимых в воде полимерных покрытий, которые получают путем нагревания полимерных суспензий в литевых формах или нанесением на омываемую твердую поверхность движущегося в воде объекта, а также на армирующие вставки проточного генератора приготовления растворов); флоковых покрытий с водорастворимыми полимерными наполнителями и твердых брикетов, которые приготавливают путем холодного прессования смеси тонкодисперсного порошка и наполнителя.

Проведенными исследованиями было установлено, что ЖВПК и генераторы приготовления из них растворов целесообразно использовать в пожаротушении, в централизованных системах водоотведения и канализации и т.д., а ТВПК (в составе проточных генераторов приготовления растворов) в мобильных установках аварийной откачки воды и для повышения эффективности работы гидравлических машин, применяемых при разрезании и разрушении жидкостными струями твердых материалов.

Большой интерес также представляют флоковые покрытия с водорастворимыми полимерными наполнителями, которые на армирующих вставках проточных генераторов (кассет), могут эффективно применяться в мобильных установках для аварийного откачивания воды, а также при приготовлении рабочих жидкостей для гидравлических машин[6-7].

Наряду с вышеизложенным в ДонНУ разработаны составы гидродинамически-активных композиций на основе МПАВ [5]. В отличие от ВМП растворы МПАВ характеризуются обратимой механической деструкцией. Это позволяет применять их в замкнутых гидравлических системах, например, в системах тепло- и холодоснабжения.

Снижение гидравлических потерь в напорных трубопроводах систем водоотведения и канализации. В период сильных паводков и ливней часто происходит переполнение систем водоотведения и канализации, которые вызывают затопление водой и коммунально-бытовыми стоками территорий промышленных предприятий и жилых массивов. Важным резервом предотвращения переполнения трубопроводных систем канализации и водоотведения может быть использование явления снижения ГСТТ добавками гидродинамически-активных композиций.

В ДонНУ [5] были созданы быстрорастворимые ЖВПК, которые в составе специальных генераторов обеспечивают за малые промежутки времени (до 20 секунд) приготовление однородных растворов ПЭО и ПАА с максимальным сохранением их молекулярной массы. Такие ЖВПК с генераторами могут эффективно использоваться для повышения пропускной способности трубопроводов централизованных канализационных систем и систем водоотведения при чрезвычайных ситуациях, т.е. в период так называемых «пиковых нагрузок», вызванных авариями, большими паводками или ливнями.

В табл. 1 приведены результаты лабораторных исследований [8] зависимости величины эффекта снижения ГСТТ $\mathcal{E},\%$ от концентрации ПЭО с молекулярной массой 4,8 млн. в шахтной воде (из системы водоотведения шахты им. М.И. Калинина производственного объединения «Донецкуголь») и в воде из канализационного коллектора г. Донецка.

Таблица 1. Зависимость величины эффекта СГСТ $\mathcal{E},\%$ от концентрации ПЭО $C_{ПЭО},\%$ в шахтной воде (1) и в воде канализационного коллектора (2). Данные получены на турбулентном реометре с диаметром капилляра $d=1,2$ мм и его длиной $L = 0,5$ м. Температура исследуемых растворов $t = 22$ °C [8]

№ п/п	$C_{пко},\%$	$5 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-5}$	10^{-4}	$5 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$	10^{-3}	$5 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$	10^{-2}
1	$\mathcal{E},\%$	40	47	52	66	71	75	76	75	69
2	$\mathcal{E},\%$	38	44	47	62	70	74	75	75	70

Из приведенных в таблице данных видно, что максимальная величина $\mathcal{E},\%$ достигается в растворах при концентрациях ПЭО $C_{ПЭО}$ равных 0,001-0,007 вес. %.

Промышленные испытания гидродинамической эффективности ЖВПК, содержащей 5% вес. ПЭО и 95% вес. смеси глицерина и воды, с плотностью 1,23 г/см³ проводили на участке трубопровода системы водоотведения шахты им. М.И. Калинина ГП «Донецкуголь» общей протяженностью 710 м. Выбранный участок состоял из труб диаметром 150 и 100 мм, длина которых соответственно была равна 230 и 480 метров.

Результаты испытаний показали (данные эксперимента приведены в табл. 2), что величина эффекта снижения гидродинамического сопротивления трения ($\mathcal{E},\%$), на всем испытываемом участке, через 5 минут составила 12%, а через 15 мин. – 55% (при равных расходах воды и раствора полимерной композиции).

Таблица 2. Зависимость величины эффекта снижения ГСТТ, $\mathcal{E},\%$, от времени введения добавок (τ , мин.) в трубопровод. Данные получены на участке трубы диаметром $d=100$ мм и длиной $L=200$ м. Температура испытываемых жидкостей $t = 28,5$ °C [8]

τ , мин.	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
$\mathcal{E},\%$	12	37	55	57	60	59	58	60	59	60	60	60	60	60	59	60

Применение гидродинамически-активных полимерных композиций на основе ПЭО и ПАА открывает широкие перспективы повышения эффективности работы канализационных систем, сетей аварийного откачивания воды без привлечения дополнительных мощностей и существенного изменения их конструкции. При этом для каждого конкретного случая применения необходимо подобрать наиболее эффективную гидродинамически-активную полимерную композицию, которая обеспечит максимальное снижение гидравлических потерь в напорных трубопроводах.

Улучшение виброакустических характеристик гидравлических систем. Анализ работ, посвященных исследованиям источников шума и вибрации гидродинамического происхождения, показал, что к основным аэрогидродинамическим источникам, ухудшающим ВАХ гидравлических систем, следует отнести: пульсации турбулентного потока; пульсации давления пограничного слоя на обтекаемых

поверхностях; пульсации давления на лопатках рабочих колес и спрямляющих элементах вследствие срыва или схода вихрей пограничного слоя; пульсации давления, вызываемые взаимодействием неоднородного потока с обтекаемыми телами; вращение твердых тел в жидкой среде; кавитационные процессы в проточных частях машин; термические процессы; процессы выпуска газа или жидкости через клапаны и т.д.

Многочисленными исследованиями, выполненными у нас в стране и за рубежом, установлено, что одним из наиболее эффективных и сравнительно легко реализуемых способов улучшения ВАХ, за счет уменьшения шума и вибрации в источнике, может быть использование в качестве рабочих жидкостей гидравлических систем растворов высокомолекулярных гидродинамически-активных полимеров (ПЭО, ПАА и т.д.). Однако, данный способ не может быть использован для замкнутых гидравлических систем, включающих насосы для перекачки рабочих жидкостей. Это обусловлено деструкцией (разрывом) полимерных молекул при их прохождении через насосы, приводящей, в конечном итоге, к полной потере добавками способности снижать как гидродинамическое сопротивление трения, так и уровни пульсаций давления в потоке.

В работах [9, 10] показано, что устранить указанные выше недостатки можно путем использования в качестве рабочих жидкостей водных растворов мицеллообразующих поверхностно-активных веществ, которые обладают свойством восстанавливать свою гидродинамическую эффективность после прохождения через насосы.

Результаты экспериментов показали, что при использовании в качестве рабочей жидкости раствора ПАВ, указанного в работе [9] состава, наблюдается значительное улучшение (по сравнению с водой) виброакустических характеристик:

- при скорости течения 5-7 м/с уровень вибраций трубопровода снизился на 6-8 дБ в диапазоне частот 60-200 Гц, на 15-18 дБ в диапазоне 200-1500 Гц и на 6-12 дБ в диапазоне частот 1500-20000 Гц;

- при скорости потока 3-4 м/с уровни вибраций трубопровода практически легли на уровень помех;

- уровни вибраций центробежного насоса уменьшились на 4-6 дБ в диапазоне частот 40-1000 Гц и на 8-10 дБ в диапазоне 1000-20000 Гц;

- уровень пульсаций давления в потоке снизился на 28 дБ в диапазоне частот 500-20000 Гц; на частотах до 500 Гц сигнал лег на уровень помех;

- энергия, затрачиваемая на циркуляцию рабочей жидкости с добавкой ПАВ, снизилась в 2,6 раза вследствие уменьшения гидравлического сопротивления трубопровода на 75-78%.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что добавки МПАВ могут найти широкое практическое применение в замкнутых гидравлических системах для улучшения их виброакустических и гидродинамических характеристик.

Совершенствование гидроструйных технологий [1, 5]. Для повышения эффективности работы гидроимпульсной и гидрорезной техники, предназначенной для разрезания и разрушения твердых материалов, были использованы ТВПК, которые наносились путем нагревания полимерной суспензии в литьевых формах на армирующие вставки проточного генератора приготовления полимерных растворов.

В ходе испытаний оценивалась эффективность использования струй (с полимерными добавками и без них) для разрушения блоков из гипса и углецементной смеси. Результаты этих исследований представлены на рис. 1 и рис. 2.

На рис. 1 приведены зависимости величины глубин отверстий H , m , которые пробивались в гипсовом блоке от времени действия струи T , c . Кривая 1 получена для водной струи; кривые 2 и 3 – при применении струй, сформированных из заранее

приготовленных однородных растворов ТВПК с содержанием ПЭО, соответственно, 0,002% и 0,004% вес.. Кривые 4 и 5 соответствуют струям из растворов ТВПК, которые были приготовлены в проточных кассетах, когда с момента первого контакта материала ТВПК с водой составило 25 минут и 4 часа, соответственно. Начальное расстояние от среза сопла до поверхности гипсового блока в процессе испытаний было постоянным и равным 0,14 м. Из рис. 1 видно, что импульсные струи, которые были сформированы гидроимпульсной машиной из заранее приготовленных однородных растворов ТВПК, имеют более высокую разрушающую способность по сравнению с водной струей.

В процессе исследований было показано, что проточные кассеты с брикетами необходимо устанавливать после насоса высокого давления. Увеличение времени контакта материала ТВПК с водой повышает эффективность разрушения гипсового блока. Это связано с повышенной массоотдачей ПЭО из ТВПК, что приводит к увеличению содержания гидродинамически-активного полимера в растворе.

Дальнейшие исследования разрушающей способности водных струй и струй из растворов ТВПК проводились с использованием двух углецементных блоков, которые были изготовлены из смеси цемента (марка 400) и антрацита (размер частиц угля 6-10 мм) в различных соотношениях. Такие блоки моделируют угольные пласты с разной прочностью. Начальное расстояние от среза сопла до поверхности углецементного блока было равно 0,14 м.

На рис. 2 приведена зависимость величины глубин отверстий (H), которое пробивалось в углецементном блоке (с коэффициентом прочности по шкале М. Протоdjаконова равным 1,6) от времени действия струи (T , с). Кривая 1 соответствует разрушению блока струей чистой воды; кривые 2 и 3 – струями из растворов ТВПК, которые были приготовлены в 2-х кассетах. При этом кривая 3 относится к случаю, когда центр отверстия, которое пробивалось в блоке, находился на расстоянии 0,35 м от бокового и верхнего ребер куба, а кривая 2 – на расстоянии 0,5 м.

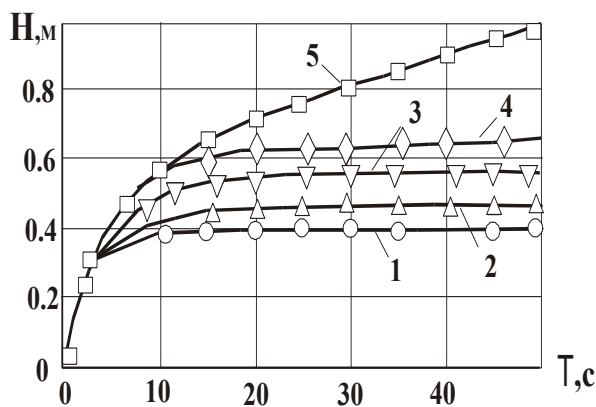


Рис. 1. Зависимость глубины отверстия H , м, пробиваемого в гипсовом блоке, от времени действия гидроструи T , с. 1 – вода, 2, 3 – 0,002 и 0,004% вес. водные растворы ПЭО, 4 и 5 – растворы, приготовленные из ТВПК в проточной кассете [5]

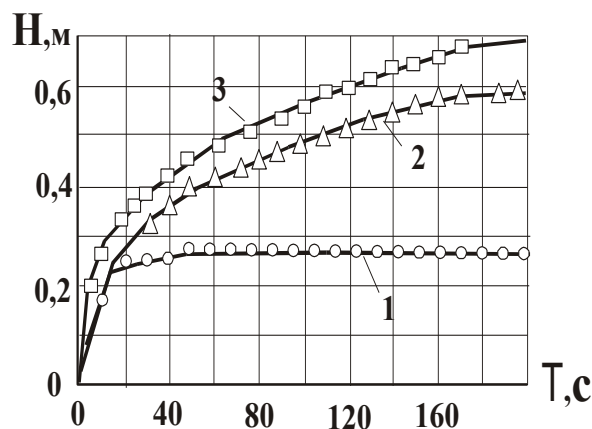


Рис. 2. Зависимость глубины отверстия H , м, пробиваемого в углецементном блоке, от времени действия струи T , с. 1 – вода, 2 и 3 – растворы с ТВПК, которые были приготовлены в проточных кассетах [5]

Из приведенных на рисунке данных видно, что если в качестве рабочей жидкости использовать водные растворы ТВПК, то глубина отверстия, которое пробивается в блоке, в 1,5-3,5 раза (в зависимости от продолжительности работы ГИМ) больше глубины отверстия, которое пробивается струей чистой воды.

Решение экологических проблем крупных животноводческих комплексов [11- 14]. В связи с концентрацией и переводом животноводства на промышленную

основу наиболее мощными источниками загрязнения окружающей среды в сельской местности стали крупные животноводческие комплексы.

Проведенные исследования показали, что в воздухе животноводческих помещений содержится большое количество вредных и дурно-пахнущих газов. Так, например, содержание аммиака, выделяемого из навоза, может в десятки раз превышать предельно допустимую концентрацию (ПДК) [12].

На животноводческих комплексах накапливается большое количество навозных стоков, которые представляют значительную угрозу окружающей среде. Такие стоки являются сложными дисперсными системами, содержание взвешенных веществ в них лежит в пределах (6-15) г/л, биологическое потребление кислорода 24 О₂ г/л.

Для улучшения экологической обстановки на крупных животноводческих комплексах необходимо: разработать и внедрить способ уменьшения выделения вредных газов из разлагающегося навоза; усовершенствовать технологический процесс очистки навозных стоков от твердых примесей.

В работе [5], в процессе проведения экспериментальных исследований, для очистки навозных стоков, обоснован выбор катионактивного флокулянта, который получают модификацией ПАА (МПАА).

В табл. 3 приведены результаты экспериментальных исследований реагентной очистки навозных стоков свиного комплекса от взвешенных твердых веществ с использованием МПАА.

Таблица 3. Результаты экспериментальных исследований по очистке навозных стоков МПАА

№ п/п	Основные характеристики		Экспериментальные данные
1.	Влажность осадка, %	В исходном стоке	98,5
		После обработки флокулянтном и фильтрации	75
2.	Содержание суспендированных веществ, мг/л	В исходном стоке	13000
		После обработки флокулянтном и фильтрации	150
3.	Коэффициент задержки взвешенных частиц, %	В исходном стоке	13
		После обработки флокулянтном и фильтрации	98,5
4.	Прозрачность фильтрата, %	В исходном стоке	0
		После обработки флокулянтном и фильтрации	35

В работах [13, 14] приведены результаты исследований по уменьшению выделения вредных газов в животноводческие помещения. Авторами разработаны составы полимерных композиций, водные растворы которых уменьшают скорость биохимического разложения навоза. Желаемый результат достигается за счет введения в воду, предназначенную для заполнения траншей навозонакопителей, микродобавок высокомолекулярных ПЭО и ПАА, или смеси ПЭО с едким натрием. Так, например, введение на один литр навозного стока 2,5 мг ПЭО в 5-6 раз уменьшает объем выделенных вредных газов. Вышеупомянутый состав защищен патентом Украины на полезную модель [13].

В табл. 4 приведены результаты экспериментальных исследований по воздействию едкого натрия, микродобавок ПЭО и их смеси на процесс выделения вредных газов из навоза.

Таблица 4. Влияние продолжительности выдержки образцов навозных стоков (до и после обработки реагентами) на величину избыточного давления, создаваемого в результате выделения вредных газов

№ п/п	Исследуемая жидкость для заполнения траншей-накопителей навоза	Продолжительность выдержки образцов, мин.									
		20	60	100	140	180	220	260	300	340	380
		Величина избыточного давления, см. водного столба									
1.	Вода	16	38	59	75	87	98	107	114	122	128
2.	Водный раствор ПЭО (2,5 мг/л)	11	15	18	20	20	20	20	20	20	20
3.	Водный раствор едкого натрия (9 г/л)	14	22	31	38	43	46	48	50	51	51
4.	Водный раствор смеси ПЭО (2,5 мг/л) и едкого натрию (9 г/л)	8	10	11	12	12	12	12	12	12	12
5.	Водный раствор смеси ПЭО (2,5 мг/л) и едкого натрия (4,5 г/л)	9	11	11	11	12	12	12	12	12	12

Очистка сточных вод с различной степенью загрязненности. В Донбассе ежегодно на поверхность подается около 800 млн. м³ вод, загрязненных взвешенными веществами, бактериальными примесями и минеральными солями. Одним из наиболее перспективных методов очистки таких вод, допускающих его реализацию непосредственно в шахте, является реагентный метод, который основан на применении коагулянтов, высокомолекулярных флокулянтов и их смесей.

В работе [5], с целью выбора наиболее активных реагентов, были апробированы: коагулянт - сернокислый алюминий и флокулянты - полиакриламид с молекулярной массой $M = (2,2-4,6) \cdot 10^6$, полиэтиленоксид с молекулярной массой $M = (2,6-4,8) \cdot 10^6$ и модифицированный полиакриламид - МПАА.

В качестве объектов исследований были выбраны пробы шахтных вод ш/у им. А.Ф. Засядько и им. М. Горького ГП "Донецкуголь", содержащие 40,0; 185,0; 210,0; 400,0 и 535 мг/л взвешенных веществ. Результаты исследований приведены в табл. 5.

Таблица 5 - Содержание взвешенных веществ в шахтных водах после двухчасового отстаивания при применении различных химических реагентов

№ п/п	Наименование реагента	Доза, мл/г	Содержание взвеси в исходной шахтной воде, мг/л				
			$C^0=40$	$C^0=185$	$C^0=210$	$C^0=400$	$C^0=535$
КОАГУЛЯНТЫ							
1	Сернокислый алюминий	100	8	39	19	30	42
2	Хлорное железо	100	2	14	6	14	25
3	Сернокислое железо	100	3	20	30	20	30
ФЛОКУЛЯНТЫ							
4	Полиакриламид	1,5	12	29	94	44	28
5	Полиэтиленоксид	1,5	22	64	100	63	60
6	МПАА	1,5	10	24	13	16	23
СМЕСЬ «КОАГУЛЯНТ+ФЛОКУЛЯНТ»							
7	Сернокислый алюминий + ПАА	100+1,0	18	31	13	27	30
8	Сернокислый алюминий + ПЭО	100+1,0	24	29	16	28	38
9	Сернокислый алюминий +МПАА	100+1,0	9	19	4	10	20

Полимерная локализация токсикантов в литосфере. Анализ научных публикаций и патентов на изобретения по существующим методам локализации загрязненных участков грунта не отвечает современным экологическим требованиям, так как они почти полностью разрушают педосферу, требуют больших капитальных и трудовых затрат, имеют главный недостаток - длительное время реализации [15-16].

Одним из возможных решений данной проблемы может быть применение водорастворимых композиций на основе гидродинамически-активных ПЭО и ПАА (суспензии, пасты, покрытия, брикеты), которые обеспечивают приготовление за малые промежутки времени большого количества однородных растворов с максимальным сохранением молекулярной массы полимера. По своим физико-химическим свойствам растворы из полимерных композиций не отличаются от растворов, приготовленных из ВМП заводского производства по «классической схеме».

На примере экологических проблем пруда-испарителя Кременчугского НПЗ определены места наиболее эффективного применения технологии полимерной локализации нефтепродуктов и фенола под землей. В первую очередь это относится к фильтрующим породам, на которых возведена барражная завеса и к обнаруженным в ней «гнездам» песков и супесей с высокими фильтрующими свойствами. Кроме этого, предлагаемая технология может эффективно использоваться для уменьшения или полного предотвращения фильтрационных потерь воды через завесу и дамбы, которые изменили свои первоначальные фильтрационные свойства в сторону увеличения под воздействием высокой минерализации и химического состава сточных вод.

Основываясь на результатах опытов приготовления из полимерных композиций растворов со сниженным ГСТТ, считается целесообразным применять полимерные суспензии и пасты для полимерной локализации токсикантов в литосфере.

Гидротранспорт сыпучих материалов, глинистых и гипсовых растворов [17, 18].

Значительное снижение турбулентного трения, получаемое при введении в поток жидкости добавок полимеров, стимулировало работы по изучению возможности использования этого явления при гидротранспорте различных сыпучих материалов, растворов глин и гипса.

В проведенных экспериментальных исследованиях в качестве твердой компоненты использовались золы, отработанные на ГРЭС и кварцевый песок. Крупность частиц золы 0-2,5 мм, удельный вес $1,3 \text{ г/см}^3$. В ходе эксперимента установлено, что с увеличением концентрации ПАА величина снижения сопротивления возрастает и достигает максимального значения при $C_{\text{П}}=5 \cdot 10^{-4} \text{ г/см}^3$ (для всех концентраций твердой фазы). При этом максимальная величина эффекта больше, чем для соответствующих концентраций песка. Это связано с различием удельных весов золы и песка, вследствие чего на работу взвешивания частиц золы в турбулентном потоке затрачивается меньшая энергия.

Дальнейшие исследования были проведены с применением водного взвесенесущего потока, содержащего кварцевый песок весовой концентрации $C_{\text{Г}}=10\%$ (крупность 0,1-0,3 мм) и ПАА концентрации $C_{\text{П}}=2,2 \cdot 10^{-4} \text{ г/см}^3$. Результаты эксперимента показали, что снижение сопротивления водопесчаной смеси начинается при пороговом числе Рейнольдса $Re_{\text{кр}}$, которое с увеличением температуры смещается в сторону больших значений. Полученный результат коррелирует с опытными данными для однородных полимерных растворов.

Проведенные исследования показали, что добавки полимеров могут быть использованы для повышения эффективности работы гидротранспорта взвесенесущих сред. Однако при практической реализации этого метода снижения турбулентного трения необходимо свести к минимуму или вообще исключить воздействия насосов на полимерные молекулы, а главное – флокулирующее воздействие полимеров на тонкодисперсную часть транспортируемых веществ [18].

В растворах глин добавки ВМП гидродинамическое сопротивление не уменьшают, в отличие от добавок МПАВ, которые обеспечивают снижение гидравлических потерь в напорных трубопроводах на 65 %. Введение в затворяющий гипс воду микродобавок ВМП снижает гидродинамическое сопротивление трения до начала образования гипсового теста в среднем на 38 %.

Перспективы развития направления. Синтетические и природные полимеры, МПАВ, а также различные композиции на их основе занимают важное место при решении проблем энергосбережения и экологии. Применение ВПК имеет большие перспективы практического использования для повышения эффективности работы гидравлических систем гидротранспорта сыпучих материалов, канализации и отведения сточных вод с различным содержанием механических примесей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Решение проблем экологии и техногенно-экологической безопасности путем применения гидродинамически активных композиций / А. П. Симоненко, П. В. Асланов, А. Ю. Собко, С. А. Фоменко // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2018. – № 1. – С. 73-94.
2. Turbulent heat transfer in bilute surfactant and polymer solutions / I. L. Povkh, A. B. Stupin, P. V. Aslanov [et al] // Heat Transfer-Soviet Research. – 1978. – Vol. 10, № 1. – P. 98-105.
3. Ступин А. Б. Максимальное снижение турбулентного трения в водных растворах метаулона / А. Б. Ступин, А. П. Симоненко // Известия высших учебных заведений. Энергетика. – 1979. – № 11. – С. 124-126.
4. Повх И. Л. Применение поверхностно-активных веществ, для уменьшения турбулентного трения жидкостей, в технологических аппаратах / И. Л. Повх, А. Б. Ступин, А. П. Симоненко // Аэродинамика в технологических процессах. – Москва : Наука, 1981. – С. 230-240.
5. Симоненко А. П. Гидродинамически-активные композиции на основе полимеров и поверхностно-активных веществ для решения проблем экологической безопасности и энергосбережения : специальность 21.06.01 «Экологическая безопасность» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Симоненко Александр Петрович ; Донецкий национальный университет. – Донецк, 2012. – 408 с.
6. Ступин А. Б. Гідродинамічно-активні водорозчинні полімерні композиції і перспективи їх застосування в енергозбереженні й екології / А. Б. Ступин, О. П. Симоненко, П. В. Асланов // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Теплоенергетика. Інженерія доквілля. Автоматизація. – 2013. – № 758. – С. 85-96.
7. Применение флокового покрытия с водорастворимыми полимерными наполнителями в энергосбережении и экологии / А. П. Симоненко, А. Б. Ступин, А. Ю. Собко, С. А. Фоменко // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури : збірник наукових праць. – Макіївка, 2012. – Вип. 2012-2(94) : Інженерні системи та техногенна безпека. – С. 15-21.
8. Быковская Н. В. Повышение эффективности работы систем аварийного водоотлива и канализации / Н. В. Быковская, А. Б. Ступин, А. П. Симоненко // Вісник Донецького національного університету. Серія А: Природничі науки. – 2004. – Вип. 1, ч. 1. – С. 475-480.
9. Улучшение виброакустических характеристик гидравлических систем путем применения гидродинамически-активных добавок / А. Б. Ступин, П. В. Асланов, А. П. Симоненко [и др.] // Повховские научные чтения : труды первого международного научно-практического семинара. – Донецк : ДонНУ, 2010. – С. 37-43.
10. Application of Hydrodynamically-Active Polymeric Dopants and Surfactants to Energy Saving Technologies / A. B. Stupin, P. V. Aslanov, N. V. Bykovskaya [et al] // International Journal of Fluid Mechanics Research. – 2004. – Vol.31, No. 1. – P. 74-86.
11. Проблемы экологии и техногенно-экологической безопасности : посвящается 100-летию со дня рождения члена-корреспондента НАН Украины И. Л. Повха / [А. Б. Ступин и др. ; под общ. ред. А. Б. Ступина] ; Донецкий национальный университет. – Донецк : ДонНУ, 2010. – 503 с.
12. Симоненко А. П. Оценка риска при загрязнении атмосферного воздуха на свиноводческом комплексе / А. П. Симоненко, А. Ю. Собко // Повховские научные чтения : труды первого международного научно-практического семинара. – Донецк : ДонНУ, 2010. – С. 153-156.
13. Патент № 67759 Україна, МПК A01C 3/00 (2012.01). Композиція для обробки гною : № u201107621 : заявл. 16.06.2011 : опубл. 12.03.2012 / Ступін О. Б., Симоненко О. П., Собко О. Ю. – Бюл. № 5.
14. Симоненко А. П. Применение водорастворимых полимерных композиций для уменьшения выделения вредных газов в помещениях животноводческих комплексов / А. П. Симоненко, А. Ю. Собко, С. А. Фоменко // Екологія промислового регіону : збірник доповідей Національного екологічного форуму, 23 – 24 травня 2012 р. – Донецьк : Донецький екологічний інститут, 2012. – Т. 1 – С. 168-170.

15. Погребняк В. Г. Физико-химические основы полимерной локализации токсикантов в литосфере / В. Г. Погребняк, А. А. Шубин. – Донецк : ДонГУЭТ, 2002. – 219 с.
16. Симоненко А. П. Перспективы практического применения гидродинамически активных композиций для полимерной локализации токсикантов в литосфере / А. П. Симоненко, И. А. Артемова // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2018. – № 3. – С. 76-91.
17. Симоненко А. П. Перспективы применения эффекта Томса для повышения эффективности работы гидравлических систем гидротранспорта сыпучих материалов, канализации и отведения сточных вод / А. П. Симоненко, И. А. Артемова // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2018. – № 4. – С. 94-111.
18. Повх И. Л. Влияние добавок полиакриламида на снижение гидравлических потерь в водных потоках с твердыми частицами / И. Л. Повх, А. Б. Ступин // Инженерно-физический журнал. – 1972. – № 5. – С. 919-921.

Поступила в редакцию 09.07.2020 г.

HYDRODYNAMIC-ACTIVE COMPOSITIONS FOR SOLVING PROBLEMS OF ENERGY SAVING AND ENVIRONMENTAL SAFETY AT CONSTRUCTION OBJECTS

Zolotaryova I.A., Simonenko A.P., Pogorzelsky E.S., Kovalyov V.V.

This article is based on the results of research of many years on the use of hydrodynamically-active high-molecular polymers, micelle-forming surfactants and compositions based on them to reduce the hydrodynamic resistance of turbulent friction of liquids in pressure pipelines, determine the effect of hydrodynamic active additives on the geometric and dynamic parameters of liquid jets, improve vibro-acoustic characteristics of hydraulic systems, and to address a number of practical tasks of energy saving, ecology, technogenic and ecological safety in the construction objects and urban economy.

Keywords: hydrodynamically active additives, energy saving, environmental Safety, construction objects, urban economy.

Золотарёва Ирина Александровна

аспирантка кафедры физики неравновесных процессов, метрологии и экологии им. И.Л. Повха; ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: artyomova_i@mail.ru

Zolotaryova Irina Aleksandrovna

Postgraduate student at Department of Physics of Nonequilibrium Processes, Metrology and Ecology named after I.L. Povkh of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

Симоненко Александр Петрович

доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры физики неравновесных процессов, метрологии и экологии им. И.Л. Повха; ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-Mail: sap2012@rambler.ru

Simonenko Aleksandr Petrovich

Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Professor at Department of Physics of Nonequilibrium Processes, Metrology and Ecology named after I.L. Povkh of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

Погоржельский Евгений Сергеевич

студент кафедры физики неравновесных процессов метрологии и экологии им. И.Л. Повха ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.

Pogorzelsky Evgenyi Sergeevich

Student at Department of Physics of nonequilibrium, Metrology and Ecology Processes named after I.L. Povkha Technologies of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

Ковалёв Владислав Владиславович

студент кафедры физики неравновесных процессов метрологии и экологии им. И.Л. Повха ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: vladkovalev95@gmail.com

Kovalyov Vladislav Vladislavovich

Student at Department of Physics of nonequilibrium, Metrology and Ecology Processes named after I.L. Povkha Technologies of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

ПАМЯТИ ФЁДОРА ВИКТОРОВИЧА НЕДОПЁКИНА



22 октября 2020 года, после тяжелой болезни, ушел из жизни заслуженный профессор Донецкого Национального Университета, заведующий кафедрой физики неравновесных процессов, метрологии и экологии имени И.Л. Повха Донецкого национального университета, доктор технических наук **Фёдор Викторович Недопёкин.**

Недопёкин Фёдор

Викторович – известный ученый в области аэрогидродинамики и теплофизики. Родился в 1949 г. в городе Лисичанске Луганской области. С 1966 по 1971 г. – студент физического факультета Донецкого госуниверситета. С 1969 г. на кафедре физической гидродинамики прошёл путь от лаборанта до профессора, заведующего кафедрой.

В 1976 г. защитил кандидатскую диссертацию и в 1982 г. получил ученое звание доцента. С 1988 г. – доктор технических наук по специальности «Теплофизика и молекулярная физика», с 1991 г. – профессор кафедры «Физики неравновесных процессов».

Академик Академии наук высшей школы и Академии инженерных наук Украины. Награждён Знаком «Отличник образования», двумя Почетными грамотами от Министерства образования и науки Украины,

Почетным дипломом «Лучший преподаватель ДонНУ», лауреат награды Ярослава Мудрого АН ВШ.

Недопёкин Ф.В. внёс весомый вклад в теорию моделирования гидродинамики и тепломассопереноса. Основное направление его научных исследований – физическое и математическое моделирование гидродинамических и теплофизических процессов в металлургических технологиях. Впервые с единых позиций теплофизики кристаллизации бинарных расплавов им исследованы и установлены закономерности гидродинамических и тепломассообменных процессов.

Под руководством **Фёдора Викторовича** предложена и реализована методика проведения автоматизированного вычислительного эксперимента для решения задачи оптимального управления тепловым процессом во время формирования слитков и отливок.

Фёдор Викторович являлся членом трёх специализированных ученых советов по защите кандидатских и докторских диссертаций, научным руководителем госбюджетной НИР, членом редакционных коллегий четырех научных журналов, автором 500 работ научного и учебно-методического характера, в том числе 14 научных монографий и 20 учебных пособий, 6 патентов и 2 свидетельств авторского права, соавтором учебника «Затвердевание металлов и их композиций», отмеченного Государственной премией в 2013 г. Под его научным руководством защитилось 5 кандидатов и 2 доктора наук.

Фёдор Викторович Недопёкин пользовался большим авторитетом среди коллег, был примером для студентов. Будучи требовательным к себе и другим, он всегда оставался доброжелательным, простым в общении, готовым оказать профессиональную и человеческую помощь, умел поделиться оптимизмом и неиссякаемой жизненной и творческой энергией.



Выражаем глубокие искренние соболезнования семье и близким в связи с кончиной этого достойного человека. Светлая память о **Фёдоре Викторовиче** – добром, отзывчивом, жизнерадостном человеке – навсегда сохранится в наших сердцах.

Редакционная коллегия журнала и
коллектив Физико-технического факультета

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1. Для публикации в журнале «Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки» принимаются ранее не опубликованные и не представленные для одновременной публикации в других изданиях научные работы, содержащие новые результаты теоретических и экспериментальных исследований в области технических наук. Авторы научных статей несут персональную ответственность за наличие элементов плагиата в текстах статей, за полноту и достоверность изложенных фактов и положений, за сам факт их публикации. Решение о публикации принимается редакционной коллегией журнала после рецензирования, учитывая научную значимость и актуальность представленных материалов. Если рецензия положительна, но содержит замечания и пожелания, редакция направляет статьи авторам на доработку вместе с замечаниями рецензента. Автор должен ответить рецензенту по всем пунктам рецензии. После такой доработки редколлегия принимает решение о публикации статьи. В случае отклонения статьи редакция направляет авторам рецензии или выдержки из них, либо аргументированное письмо редактора. Редколлегия не вступает в дискуссию с авторами отклоненных статей, за исключением случаев явного недоразумения. В случае отказа в публикации статей редколлегия не возвращает автору рукопись статьи. Статья, задержанная на срок более трех месяцев или требующая повторной переработки, рассматривается как вновь поступившая. Гонорар авторам не выплачивается и плата за публикацию статей не взимается. Допускается публикация не более двух статей одного автора в одном номере журнала.

2. Рукопись предоставляется в одном экземпляре (на русском или английском языках), напечатанном с одной стороны листа бумаги формата А4 (экземпляр подписывается авторами). Страницы рукописи должны быть последовательно пронумерованы. Объем рукописи, как правило, от 5 до 15 страниц (для обзорной статьи – до 25), включая рисунки, таблицы, список литературы, сведения об авторах. Вместе с рукописью на адрес электронной почты vestnik.donnu.g@donnu.ru высылается электронный вариант с полным текстом статьи в формате doc или docx. При отсутствии возможности предоставления в редколлегию рукописи, на электронную почту редакции высылается полный текст статьи в формате pdf. Статьи, не соответствующие редакционным требованиям или тематике журнала, к рассмотрению не принимаются. Редакция оставляет за собой право проводить редакционную правку статей. Корректурa статей авторам не высылается.

3. Обязательные требования к оформлению статей:

- **Размер бумаги:** А4.
- **Ориентация:** книжная.
- **Поля:** зеркальные, верхнее – 30 мм, нижнее – 30 мм, внутри – 30 мм, снаружи – 20 мм.
- **Положение верхнего и нижнего колонтитула относительно края:** 2 см.
- **Междустрочный интервал:** одинарный.
- **Абзацный отступ:** 1 см.
- **Основной текст статьи:** шрифт Times New Roman, размер 12 пт., с выравниванием по ширине, без автоматической расстановки переносов.
- **Аннотация, таблицы, подрисуночные подписи, список литературы, сведения об авторах:** шрифт Times New Roman, размер 10 пт., с выравниванием по ширине, без автоматической расстановки переносов.

4. Текст статьи должен соответствовать следующей структурной схеме:

- **Первая строка:** индекс УДК – выравнивание по левому краю, без абзацного отступа.
- **Через строку:** **НАЗВАНИЕ** статьи – полужирный, выравнивание по центру, прописными буквами, без переноса слов, без абзацного отступа.
- **Через строку:** копирайт © и год – полужирный, выравнивание по левому краю, без точки после года, через 3 пробела *фамилия(и) и инициалы автора(ов)* – полужирный, курсив, выравнивание по левому краю, без абзацного отступа.
- **Через две строки:** аннотация объемом до 100 слов, кратко отражающая предмет статьи, примененные методы исследований и основные результаты, полученные авторами.
- **На следующей строке:** словосочетание *Ключевые слова:* – полужирный, курсив. Далее приводятся ключевые слова количеством до 10 слов, отделяемых друг от друга запятой. Аннотацию и ключевые слова рекомендуется отделять с помощью инструмента «Границы».
- **Через две строки:** основной текст статьи, который содержит введение, основную часть и выводы. Во **введении** рекомендуется излагать постановку проблемы в общем виде и связь с важнейшими научными и практическими задачами, анализ последних исследований и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящена статья, формулировку целей статьи. В **основной части** рекомендуется излагать основные материалы исследования с полным обоснованием полученных научных результатов. Основную часть рекомендуется структурировать на разделы с названиями, отражающими их содержание, например, постановка задачи, методы ее решения, анализ полученных результатов. В **выводах** рекомендуется кратко и четко подводить итоги основных результатов, полученных авторами и описывать перспективы дальнейших исследований в данном направлении.
- **Через строку:** словосочетание **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ** размером 10 пт., полужирный, выравнивание по левому краю, прописными буквами, без абзацного отступа. Далее через строку приводится нумерованный перечень используемых литературных источников общим списком в порядке упоминания в тексте на языке оригинала в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание» и ГОСТ 7.05-2008 «Библиографическая ссылка». Ссылка на источник приводится в квадратных скобках. Разрешается ссылаться только на опубликованные работы. Необходимо включение в список литературы источников последних 5-10 лет по исследуемому вопросу.
- **Через строку:** надпись «Поступила в редакцию *xx.xx.20xx г.*» размером 10 пт., курсив, выравнивание по правому краю.
- **Через строку:** приводится **НАЗВАНИЕ** статьи, *фамилия(и) и инициалы автора(ов)*, аннотация и ключевые слова (*Keywords*) на английском языке (перевод) размером 10 пт.
- **Через строку:** сведения об авторах размером 10 пт., в таблице с параметром «Нет границ», содержащей два столбца (для сведений на русском и английском языках):

- **Фамилия, имя, отчество;**

- ученая степень и звание, должность, с указанием организации (полное название, в именительном падеже), которую представляет автор;
- страна, город;
- адрес электронной почты.

5. Образец оформления статьи:

УДК 004.62

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ЛИНГВИСТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ УЧАСТКОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ КРИВЫХ

© 2020 Третьяков И.А., Данилов В.В.

В настоящей работе произведена реализация и исследование вычислительных алгоритмов лингвистического описания экспериментальных кривых. Полученная в результате работы алгоритмов классификация находит значительную схожесть с реальной электрокардиограммой.

Ключевые слова: экспериментальные кривые, анализ данных, классификация, лингвистический анализ, python.

Введение. Экспериментальные кривые являются одним из...

Постановка задачи. На этапе сегментации исследуемую кривую разделяют...

Классификация участков экспериментальных кривых. Участки устойчивой формы, регулярно повторяющиеся в процессе события назовем ...

Выводы. Полученный в результате классификации алфавит...

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Третьяков И. А. Методы параллельной сегментации экспериментальных кривых / И. А. Третьяков // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2018. – № 4. – С. 36-41.
2. Data from ECG recording in today's class URL <https://bioelectromagnetism.wordpress.com/2012/11/28/data-from-ecg-recording-in-todays-class/> (дата обращения: 01.09.2019).

Поступила в редакцию xx.xx.2020 г.

ANALYSIS OF ALGORITHMS FOR LINGUISTIC DESCRIPTION OF THE EXPERIMENTAL CURVE SITES

Tretiakov I.A., Danilov V.V.

In this paper, we have implemented and studied computational algorithms for the linguistic description of experimental curves. The classification obtained as a result of the work of the algorithms finds significant similarity with the real electrocardiogram.

Keywords: experimental curves, data analysis, classification, linguistic analysis, python.

Третьяков Игорь Александрович

заведующий учебной лабораторией кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: es75i@mail.ru

Tretiakov Igor Aleksandrovich

Head of laboratory at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University,
DPR, Donetsk.

Данилов Владимир Васильевич

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: ut5iv@mail.ru

Danilov Vladimir Vasilevich

Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Head of the Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University,
DPR, Donetsk.

6. Рисунки и таблицы располагаются по тексту строго в пределах печатного поля книжной ориентации страниц после их первого упоминания в тексте статьи. Вся текстовая информация на рисунках должна быть четкой и разборчивой и не иметь лишних деталей. Необходимо следить за тем, чтобы после возможного уменьшения до размера 80 мм высота букв и цифр на рисунке оставалась не менее 2 мм. Каждый рисунок должен иметь подрисуночную подпись (не совмещенную с рисунком) в формате: «Рис. №. Название». Каждая таблица должна иметь заглавие (выравнивание – по центру) в формате: «Таблица №. Название». Во избежание смещений рисунков рекомендуется размещать их в таблицах с двумя строками с параметром «Нет границ» (в первой строке размещается рисунок, во второй – подрисуночная подпись). Все рисунки и таблицы должны быть последовательно пронумерованы арабскими цифрами. Сканированные рисунки не принимаются. Образец оформления рисунка и таблицы:

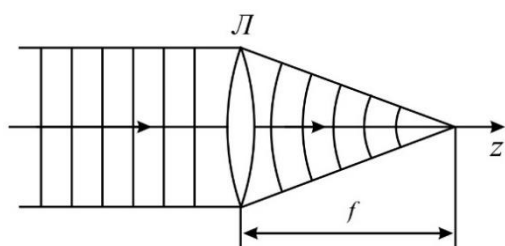


Рис. 1. Действие линзы на плоскую волну

Таблица 1. Номиналы элементов схемы УМ класса F₃

Элемент	Номинал	Единица измерения
C _{out}	25	пФ
C ₁	10	нФ
C ₂	100	мкФ
L ₁	150	мкГн
L ₂	460	нГн
L ₃	765	нГн
R ₁	39	кОм

7. Формулы выравниваются по центру и имеют, при необходимости, сквозную нумерацию по правому краю. Для выравнивания формул рекомендуется использовать таблицы с параметром «Нет границ». Нумеровать следует только те формулы, на которые имеются ссылки в тексте. Ссылки на формулы приводятся в круглых скобках. Каждая формула отделяется от основного текста интервалом в 6 пт. перед и после. Все числовые значения физических величин выражаются в системе СИ. В десятичных дробях целая часть должна отделяться от дробной запятой, а не точкой. Формулы, их компоненты и все переменные в тексте и отдельно в строках набираются только с помощью редактора формул Microsoft Equation 3.0 или MathType 5.0–6.0 с параметрами:

- **текст и переменная:** курсив;
- **матрица и вектор:** полужирный курсив;
- **размер:** обычный 12 пт., крупный индекс 9 пт., мелкий индекс 7 пт., крупный символ 18 пт., мелкий символ 12 пт.

Образец оформления формулы:

$$y_t = c_0 + \sum_{i=1}^n c_i y_{t-i} + b\xi_t \quad (1)$$

8. Материалы предоставляются по адресу:

283001, Донецкая Народная Республика, г. Донецк, пр. Театральный, д. 13, Физико-технический факультет.

Главный редактор: Данилов Владимир Васильевич, каб. 203.

Зам. главного редактора: Симоненко Александр Петрович, каб 252.

Ответственный секретарь: Третьяков Игорь Александрович, каб 210.

Контактные тел.: +38 (062) 302 07 81, +38 (062) 302 92 88

E-mail: vestnik.donnu.g@donnu.ru

Научное издание

**Вестник Донецкого национального университета.
Серия Г: Технические науки**

– 2020. – № 3

Технический редактор: И.А. Третьяков

Адрес редакции:

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
283001, ДНР, г. Донецк, ул. Университетская, д. 24
Тел.: +38 (062) 302 07 81, +38 (062) 302 92 88

E-mail: vestnik.donnu.g@donnu.ru

URL: <http://donnu.ru/vestnikG>

Подписано в печать 30.10.2020 г.
Формат 60×84/8. Бумага офсетная.
Печать – цифровая. Усл. печ. л. 10,35
Тираж 100 экз. Заказ. №

Издательство ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
ДНР 83001, г. Донецк, ул. Университетская, д. 24.
Тел.: +38 (062) 302 92 27.

Свидетельство о внесении субъекта издательской деятельности
в Государственный реестр
серия ДК № 1854 от 24.06.2004 г.