

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ЗЕМЛИ

HIGH TECHNOLOGIES IN EARTH SPACE RESEARCH

Журнал **H&ES Research** издается с 2009 года, освещает достижения и проблемы российских инфокоммуникаций, внедрение последних достижений отрасли в автоматизированных системах управления, развитие технологий в информационной безопасности, исследования космоса, развитие спутникового телевидения и навигации, исследование Арктики. Особое место в издании уделено результатам научных исследований молодых ученых в области создания новых средств и технологий космических исследований Земли.

Журнал H&ES Research входит в перечень изданий, публикации в которых учитываются Высшей аттестационной комиссией России (ВАК РФ), в систему российского индекса научного цитирования (РИНЦ), а также включен в Международный классификатор периодических изданий.

Тематика публикуемых статей в соответствии с перечнем групп специальностей научных работников по Номенклатуре специальностей:

- 2.2.15 Системы, сети и устройства телекоммуникаций (техн. науки)
- 2.3.1 Системный анализ, управление и обработка информации (техн. науки)
- 2.3.5 Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей (техн. науки)
- 2.3.6 Методы и системы защиты информации, информационная безопасность (техн. науки)
- 2.5.13 Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов (техн. науки)
- 2.5.16 Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (техн. науки)

ИНДЕКСИРОВАНИЕ ЖУРНАЛА H&ES RESEARCH

- NEICON • CyberLenika (Open Science) • Google Scholar • OCLC WorldCat • Ulrich's Periodicals Directory • Bielefeld Academic Search Engine (BASE) • eLIBRARY.RU • Registry of Open Access Repositories (ROAR)

Все номера журнала находятся в свободном доступе на сайте журнала www.hes.ru и библиотеке elibrary.ru.

Всем авторам, желающим разместить научную статью в журнале, необходимо оформить ее согласно требованиям и направить материалы на электронную почту: HT-ESResearch@yandex.ru.

С требованиями можно ознакомиться на сайте: www.H-ES.ru.

Язык публикаций: русский, английский.

Периодичность выхода – 6 номеров в год.

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 77-60899 от 02.03.2015

Территория распространения: Российская Федерация, зарубежные страны

Тираж 1000 экз. Цена 1000 руб.

Плата с аспирантов за публикацию рукописи не взимается.

© ООО «ИД Медиа Паблшер», 2022

H&ES Research is published since 2009. The journal covers achievements and problems of the Russian infocommunication, introduction of the last achievements of branch in automated control systems, development of technologies in information security, space researches, development of satellite television and navigation, research of the Arctic. The special place in the edition is given to results of scientific researches of young scientists in the field of creation of new means and technologies of space researches of Earth.

The journal H&ES Research is included in the list of scientific publications, recommended Higher Attestation Commission Russian Ministry of Education for the publication of scientific works, which reflect the basic scientific content of candidate and doctoral theses. IF of the Russian Science Citation Index.

Subject of published articles according to the list of branches of science and groups of scientific specialties in accordance with the specialties:

- 2.2.15 Telecommunication systems, networks and devices
- 2.3.1 System analysis, management and information processing
- 2.3.5 Mathematical and software support for computing systems, complexes and computer networks
- 2.3.6 Methods and systems of information security
- 2.5.13 Design, construction and production of aircraft
- 2.5.16 Dynamics, ballistics, aircraft motion control

JOURNAL H&ES RESEARCH INDEXING

All issues of the journal are in a free access on a site of the journal www.hes.ru and elibrary.ru.

All authors wishing to post a scientific article in the journal, you must register it according to the requirements and send the materials to your email: HT-ESResearch@yandex.ru.

The requirements are available on the website: www.H-ES.ru.

Language of publications: Russian, English.

Periodicity – 6 issues per year.

Media Registration Certificate PI No, FS77-60899, Date of issue: March 2, 2015.

Distribution Territory: Russian Federation, foreign countries

Circulation of 1000 copies. Price of 1000 Rub.

Postgraduate students for publication of the manuscript will not be charged

© "Media Publisher", LLC 2022

Учредитель:

ООО "ИД Медиа Паблишер"

Издатель:

ДЫМКОВА С.С.

Главный редактор:

ЛЕГКОВ К.Е.

Редакционная коллегия:

БОБРОВСКИЙ В.И., д.т.н., доцент;
БОРИСОВ В.В., д.т.н., профессор,
Действительный член академии военных наук РФ;
БУДКО П.А., д.т.н., профессор;
БУДНИКОВ С.А., д.т.н., доцент,
Действительный член Академии информатизации образования;
ВЕРХОВА Г.В., д.т.н., профессор;
ГОНЧАРОВСКИЙ В.С., д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ;
КОМАШИНСКИЙ В.И., д.т.н., профессор;
КИРПАНЕВ А.В., д.т.н., доцент;
КУРНОСОВ В.И., д.т.н., профессор, академик Международной академии информатизации, Действительный член Российской академии естественных наук;
МОРОЗОВ А.В., д.т.н., профессор, Действительный член Академии военных наук РФ;
МОШАК Н.Н., д.т.н., доцент;
ПАВЛОВ А.Н., д.т.н., профессор;
ПРОРОК В.Я., д.т.н., профессор;
СЕМЕНОВ С.С., д.т.н., доцент;
СИНИЦЫН Е.А., д.т.н., профессор;
ШАТРАКОВ Ю.Г., д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ.

Адрес издателя:

111024, Россия, Москва,
ул. Авиамоторная, д. 8, корп. 1, офис 323.

Адрес редакции:

194044, Россия, Санкт-Петербург,
Лесной Проспект, 34-36, к. 1,
Тел.: +7(911) 194-12-42.

Адрес типографии:

Россия, Москва, ул. Складочная, д. 3,
кор. 6.

Мнения авторов не всегда совпадают с точкой зрения редакции.
За содержание рекламных материалов редакция ответственности не несет.
Материалы, опубликованные в журнале – собственность ООО "ИД Медиа Паблишер".
Перепечатка, цитирование, дублирование на сайтах допускаются только с разрешения издателя.

СОДЕРЖАНИЕ

АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

Ильина О.В., Терешонок М.В.

Способ обучения глубокой сверточной нейронной сети для робастной локализации объектов на аэрофотоизображениях **4**

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Гречев М.И., Бурлов В.Г., Грачева Н.Г.

Математическое моделирование организационных систем **14**

**Швидченко С.А., Иванов С.В.,
Хорольский Е.М., Савельев И.В.**

Один из эффективных подходов к защите информации в радиоприемниках робототехнических комплексов с группами беспилотных летательных аппаратов на основе блокчейн технологии **21**

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

Шагров Н.А., Большаков А.С.

Выбор способа нейтрализации перехвата видеосигналов ПЭМИ с использованием среды Multisim **29**

Головской В.А.

Об идентификации модели ослабления при распространении радиоволн **38**

**Лукьянов А.Д., Азнабаев М.И., Плеханова Е.В.,
Капитанова И.Р., Плеханова Т.Г.**

Прецизионная лабораторная печь для получения наночастиц с системой программного управления и облачным мониторингом **45**

**Сафарьян О.А., Алферова И.А.,
Найденова Ю.И., Решетникова И.В.**

Стабильность частоты генераторов и вероятность битовой ошибки в системах радиосвязи с M&KAM сигналами **53**

НОВОСТИ

Алексей Жданов

Живая электроника: производственный суверенитет достижим **60**



CONTENTS

AVIATION, SPACE-ROCKET HARDWARE

Irina O. V., Tereshonok M. V.

A Deep Convolutional Neural Network Training Technique
for Remote Sensing Robust Object Localization

4

INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND CONTROL

Grachev M.I., Burlov V.G., Gracheva N.G.

Mathematical modeling of organizational systems

14

Shvidchenko S.A., Ivanov S. V.,

Khorolsky E. M., Saveliev I. V.

One of the effective approaches to protecting information
in the radio links of robotic complexes with groups
of unmanned aerial vehicles based on blockchain technology

21

RF TECHNOLOGY AND COMMUNICATION

Shagrov N.A., Bolshakov A.S.

Selecting a way to neutralize compromising electromagnetic
emanations video interception using the Multisim environment

29

Golovskoy V.A.

On the identification of the attenuation model
in the propagation of radio waves

38

Lukyanov A.D., Aznabaev M.I., Plekhanova E.V.,

Kapitanova I.R., Plekhanova T.G.

A precision laboratory furnace for producing nanoparticles
with a program control system and cloud monitoring

45

Safaryan O.A., Alferova I.A., Naydenova Ju.I.,

Reshetnikova I.V.

Frequency stabilization based on primary fundamental
properties of large systems

53

NEWS

Alexey Zhdanov

Live Electronics: Manufacturing Sovereignty Is Achievable

60

Founder:

"Media Publisher", LLC

Publisher:

DYMKOVA S.S.

Editor in chief:

LEGKOV K.E.

Editorial board:

BOBROWSKY V.I., PhD, Docent;

BORISOV V.V., PhD, Full Professor;

BUDKO P.A., PhD, Full Professor;

BUDNIKOV S.A., PhD, Docent,

Actual Member of the Academy of
Education Informatization;

VERHOVA G.V., PhD, Full Professor;

GONCHAREVSKY V.S., PhD, Full

Professor, Honored Worker of Science

and Technology of the Russian Federation;

KOMASHINSKIY V.I., PhD, Full Professor;

KIRPANEV A.V., PhD, Docent;

KURNOSOV V.I., PhD, Full Professor,

Academician of the International Academy

of Informatization, law and order, Member

of the Academy of Natural Sciences;

MOROZOV A.V., PhD, Full Professor,

Actual Member of the Academy of Military
Sciences;

MOSHAK N.N., PhD, Docent;

PAVLOV A.N., PhD, Full Professor;

PROROK V.Y., PhD, Full Professor;

SEMENOV S.S., PhD, Docent;

SINICYN E.A., PhD, Full Professor;

SHATRAKOV Y.G., PhD, Full Professor;

Honored Worker of Science of the Russian
Federation.

Address of publisher:

111024, Russia, Moscow,
st. Aviamotornaya, 8, bild. 1, office 323

Address of edition:

194044, Russia, St. Petersburg,
Lesnoy av., 34-36, h.1,
Phone: +7 (911) 194-12-42.

Address of printing house:

Russia, Moscow, st. Skladochnaya, 3, h. 6

The opinions of the authors don't always coincide with the point of view of the publisher. For the content of ads, the editorial Board is not responsible. All articles and illustrations are copyright. All rights reserved. No reproduction is permitted in whole or part without the express consent of Media Publisher Joint-Stock company.

doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-5-4-13

СПОСОБ ОБУЧЕНИЯ ГЛУБОКОЙ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РОБАСТНОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ ОБЪЕКТОВ НА АЭРОФОТОИЗОБРАЖЕНИЯХ

ИЛЬИНА

Ольга Викторовна¹

ТЕРЕШОНОК

Максим Валерьевич²

АННОТАЦИЯ

Введение: в настоящее время активно используются системы обнаружения объектов на аэрофотоизображениях с использованием глубоких сверточных нейронных сетей. Однако при дистанционном зондировании Земли качество изображений может быть крайне низким из-за разнообразных негативных явлений. Наиболее часто на изображениях возникают искажения в виде гауссова размытия, которое приводит к снижению четкости границ объектов на этих изображениях, что, в свою очередь, сильно снижает результативность работы системы обнаружения объектов. **Цель исследования:** повысить робастность (результативность при наличии искажений) сверточной нейронной сети в системе локализации объектов на размытых аэрофотоизображениях без использования дополнительных блоков предварительной или последующей обработки, которые приводят к излишним затратам вычислительных ресурсов. **Методы:** для достижения поставленной цели предложено использовать оригинальный метод аугментации обучающих данных с введением размытых данных с различными степенями искажения. **Результаты:** благодаря проведенному моделированию показано, что с увеличением доли искаженных изображений и одновременно с увеличением степени этих искажений в обучающей выборке наблюдается рост метрики усредненной полноты системы локализации транспортных средств на искаженных тестовых изображениях. Однако одновременно наблюдается падение метрики пересечения предсказанных системой регионов интереса с истинными объектами на этих же искаженных тестовых изображениях. Исследование показало существование оптимального уровня искажений изображений в обучающем наборе данных для получения наиболее устойчивых (робастных) глубоких сверточных нейронных сетей. Задача решена на примере локализации транспортных средств на аэрофотоизображениях Земли. **Практическая значимость:** предложенный способ позволяет повысить результативность системы локализации объектов на аэрофотоизображениях при наличии искажений без повышения вычислительной сложности. **Обсуждение:** дальнейшие более подробные исследования поведения глубоких сверточных нейронных сетей в условиях реального мира, а именно, при наличии различного рода искажающих эффектов, позволят в последующем добиться повышения робастности в самых разнообразных условиях.

Сведения об авторах:

¹ научный сотрудник, Московский Технический Университет Связи и Информатики, Москва, Россия, o.v.ilina@mtuci.ru

² д.т.н., доцент, начальник научно-исследовательского отдела, Московский Технический Университет Связи и Информатики, Москва, Россия, m.v.tereshonok@mtuci.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: обучение, аугментация, искажение изображений, гауссово размытие, глубокая сверточная нейронная сеть, локализация объектов, аэрофотоизображения, дистанционное зондирование Земли.

Для цитирования: Ильина О.В., Терешонок М.В. Способ обучения глубокой сверточной нейронной сети для робастной локализации объектов на аэрофотоизображениях // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2022. Т. 14. № 5. С. 4-13. doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-5-4-13



Введение

В последние годы наблюдается быстрое развитие технологий дистанционного развития Земли (ДЗЗ), благодаря чему в настоящее время имеются разномасштабные аэрофотоснимки Земли [1], охватывающие несколько десятков тысяч квадратных километров и содержащие в себе разнообразные подстилающие поверхности. Изображения ДЗЗ в большинстве случаев содержат объекты различных размеров (от нескольких единиц до нескольких сотен пикселей), различных цветов, имеющих разнообразное расположение на местности. Также стоит отметить, что количество объектов на изображении ДЗЗ может тоже сильно варьироваться от нуля до нескольких тысяч [2]. Такие объемы данных привели к необходимости автоматической обработки подобных изображений.

Обнаружение объектов – фундаментальная задача, связанная с компьютерным зрением и обработкой изображений, состоящая в определении класса объектов, представленных на входном изображении, и местоположения этих объектов. При этом обнаруживаемые объекты на изображении могут наблюдаться в произвольном количестве, иметь произвольное расположение и ориентацию, а также различные размеры и формы. На данный момент известны различные методы обнаружения объектов на изображениях, при этом наибольшую популярность и эффективность демонстрируют методы, основанные на глубоких свёрточных нейронных сетях (ГСНС) [3], обладающих способностью извлекать высокоуровневые абстрактные свойства без высоких вычислительных затрат для их обучения [4]. Наиболее эффективным подход для решения проблемы обнаружения объектов основан на решении двух подзадач: предложение регионов интереса и классификация объектов внутри этих регионов [5].

Методы обнаружения объектов, основанные на регионах предложения, зарекомендовали себя как методы, обладающие высокой способностью локализации и классификации объектов на изображениях [5]. На первом этапе метода происходит предложение регионов и оценка их объектности, т.е. определения, находится ли объект в найденном регионе или нет. На втором этапе происходит распознавание классов объектов в найденных на предыдущем этапе регионах, путем определения их класса из ограниченного списка категорий. На качество обнаружения таких двухэтапных систем сильно влияет этап предложения регионов. Так, в случае потери большого количества истинных объектов на этом этапе, точность обнаружения системы в целом будет значительно ниже. Поэтому всеобъемлющие исследования в области влияния работы этапа локализации не зависящих от класса объектов являются неотъемлемой частью для разработки качественной и робастной системы обнаружения объектов. Большие объемы аэрофотоснимков привели к развитию области автоматического обнаружения транспортных средств, которые широко используются в различных приложениях, таких как мониторинг трафика [6] и морского судоходства [7], городское планирование [8], операции поиска и спасения [9] и т. п.

Из-за многообразия факторов, например, атмосферных явлений (осадки, туман и т.п.), ограничений датчиков, загрязненности, наличия царапин и сколов на объективе съемочной аппаратуры, а также дрожания и расфокусировки оптической

системы, качество изображений ДЗЗ может существенно снижаться [1]. Наиболее частым искажением снимков является их размытие. Эффект размытия сглаживает переход цвета на изображениях, из-за чего происходит снижение чёткости границ объектов на изображениях. Существуют работы, в которых проводится анализ точности распознавания объектов на изображениях ГСНС. Так, например, в работе [10] показано, что распознавание объектов ГСНС на изображениях очень чувствительно к размытию. Авторы объясняют это тем, что размытие удаляет текстуры на изображениях, а СНС может искать определенные текстуры для классификации объектов на этих изображениях.

В настоящее время существует тенденция быстрого развития архитектур ГСНС, решающие большой спектр задач, однако существует мало исследований, направленных на анализ их стабильности и способности обобщать. В большинстве случаев авторы современных архитектур стремятся повысить их производительность на эталонных наборах данных, однако заявленные показатели могут не подтверждаться на реальных данных.

Целью данной работы является повышение робастности (результативности при наличии искажений) ГСНС, решающих задачи предложения регионов для автоматической локализации объектов, в том числе транспортных средств, на размытых аэрофотоизображениях Земли, подверженных гауссову размытию с различными размерами окна без использования дополнительных блоков предварительной или последующей обработки, которые приводят к излишним затратам вычислительных ресурсов.

Обзор публикаций по теме исследования

В настоящее время существует большой интерес в области применения нейронных сетей для устранения размытия на входном изображении, но не для определения класса объекта на этом изображении [11-15]. Также существуют работы, направленные на усложнение архитектур ГСНС для повышения точности классификации объектов на изображениях. Так, авторы [16] предложили усовершенствовать СНС для задач обнаружения лиц путем добавления ансамбля ветвей к изначальной СНС, а также путем расширения обучающей выборки её размытой копией.

В статье [17] предложено несколько вариантов улучшенных моделей СНС для распознавания изображений путем робастного предварительного обучения. Для этого авторы предлагают обучить свёрточную часть модели на исходных изображениях, реконструированных из искаженных, после чего полная модель обучается распознавать образы на искаженных изображениях.

В ряде источников представлены исследования влияния на производительность ГСНС различного типа и степени искажений, влияющих на качество изображений. Так, исследование влияния внешних объектов (линейка, волосы) и качества изображения (размытие, шум, контраст) на классификацию меланомы с использованием современных моделей ГСНС проведено в [18], где авторы эмпирическим путем продемонстрировали способности различных ГСНС справляться с тем или иным видом искажения входных данных.

В работе [19] показано, что тонкая настройка первых нескольких слоев СНС и обучение всей сети с нуля на искаженных данных положительно влияет на качество классификации искаженных тестовых выборок. Однако, авторы предполагают, что обучение СНС с нуля на искаженных данных может привести к адаптации модели распознавать исключительно искаженные данные. Практически одновременно с предыдущей работой вышла статья [20], в которой авторы сравнивают качество распознавания ГСНС (в том числе, полученных после тонкой настройки последнего полносвязного слоя на частично неискаженных и частично искаженных изображениях одновременно) с наблюдениями людей на искаженных изображениях. Проведенные в данной работе исследования показали, что, хотя ГСНС работают лучше или наравне с людьми на изображениях хорошего качества, однако на искаженных изображениях производительность ГСНС все еще намного ниже, чем производительность человека. Также в работе показано, что производительность человека снижается быстрее для размытых изображений по сравнению с зашумленными изображениями, но производительность ГСНС показывает противоположную тенденцию. Проведенный в данной работе анализ матриц ошибок показал, что существует низкая корреляция между ошибками, совершенными ГСНС и людьми. Это может быть признаком того, что внутреннее представление изображений отличается между ГСНС и зрительной системой человека.

В [21] показано поведение многослойного перцептрона, обученного при добавлении искажений ко входным данным. Авторы показали, что чем выше фиксированный уровень искажений в обучающем наборе данных, тем хуже сеть работает на данных без шума, но тем медленнее она деградирует с ростом уровня шума. Также показано, что для каждого уровня шума в тестовом наборе данных существует оптимальный фиксированный уровень шума в обучающей выборке, соответствующий тому же уровню, что и в рассматриваемом уровне тестового набора данных. Таким образом, можно сделать вывод, что при обучении многослойного перцептрона уровень внесённого шума (искажения) является признаком, запоминаемым нейронной сетью.

Результаты, полученные в [21], применимы к полносвязной нейронной сети с относительно простой структурой. Другими авторами предпринимались попытки исследования помехоустойчивости свёрточных нейронных сетей. Авторы работ [22, 23] исследовали качество классификации ГСНС на изображениях с добавленными разнообразными видами искажений, где показали, что при обучении ГСНС на обучающем наборе данных, включающим несколько уровней искажений, точность классификации на тестовом наборе данных с разными уровнями искажений выше, чем при обучении на фиксированном уровне искажений. Однако, данный вывод не распространяется на точность классификации на неискажённых данных.

Для повышения робастности авторы [22] использовали предварительно обученную современную архитектуру ГСНС и дообучили ее за три эпохи на неискаженных и искаженных изображениях с различной степенью искажений одновременно, что привело к значительному увеличению робастности

такой ГСНС. Также авторы исследовали аналогичным образом стабильность системы сегментации объектов на изображении и обнаружили, что дообучение такой системы на неискаженных и искаженных изображениях хоть и увеличивает качество работы системы сегментации объектов на изображении, однако существует большой разрыв между качеством сегментации неискаженных и размытых изображений.

Отмечается большее влияние искажений на качество сегментации по сравнению с качеством распознавания. Авторы считают, что это связано со способностью системы сегментации объектов решать задачу идентификации и разделения объектов, однако размытие границ объектов сильно затрудняет эту задачу. В [23] продемонстрировано, что точность классификации будет наивысшей при обучении и тестирования ГСНС на наборах данных с одинаковым фиксированным уровнем искажений. В случае, когда разница между фиксированным уровнем искажений обучающих данных и фиксированным уровнем искажений тестовых данных велика, точность классификации на тестовом наборе данных может быть очень низкой.

Также авторы показали, что предварительная очистка тестовых изображений от искажений современными алгоритмами (а именно, удаление тумана и размытия движения) не улучшает качество классификации ГСНС по сравнению с методом добавления искаженных данных в процесс обучения сети. Повышение качества распознавания изображений путём добавления искажений в обучающую выборку подробно исследовано в работах [24, 25], результаты которых показывают, что для большого разнообразия искажающих воздействий существует оптимальное значение уровня добавляемого искажения в обучающий набор данных.

Большинство упомянутых выше исследований касаются ГСНС, решающих задачу идентификации класса объекта, находящегося в центре изображения и занимающего большую его часть. Широких исследований производительности систем предложения регионов интереса на размытых изображениях не проводилось.

Анализ помехоустойчивости ГСНС, решающей задачи предложения регионов на аэрофотоснимках Земли, впервые представлен в [26], где авторы демонстрируют повышение робастности анализируемой системы за счет введения шумовых искажений в обучающий набор данных, а также показывают, что существует оптимальный уровень искажения части обучающих данных для получения стабильной системы, работающей в сложных реальных условиях.

При этом в работе [26] рассмотрены искажения только в виде аддитивного белого гауссова шума. Размытие изображений не исследовано. Однако такого рода искажения могут сильно повлиять на достоверность системы обнаружения в целом. Возможным подходом к решению проблемы снижения качества обнаружения объектов на размытых изображениях может являться аугментация обучающих данных. В частности, размытие доли обучающих изображений может привести к появлению у ГСНС обобщающей способности, распространяющейся не только на признаки чётких, но и размытых объектов.



Описание анализируемой системы локализации объектов на аэрофотоизображениях Земли

Исследователи всего мира применяют систему Faster R-CNN [28] с сетью извлечения пирамиды признаков (Feature Pyramid Network, FPN) [29] для обработки аэрофотоснимков Земли [30] из-за ее способности с высокой точностью локализовать объекты различных размеров на многообразных подстилающих поверхностях, с чем не справляются одноэтапные модели, которые больше подходят для обработки видеопотока с невысокой плотностью нахождения объектов в кадре. В случае потери большого количества истинных объектов на этапе предложения регионов (Region Proposal Network, RPN) [28], точность обнаружения и распознавания объектов всей системы в целом будет значительно ниже, поскольку классификатор работает только с регионами, предложенными ему на предыдущем этапе (на этапе предложения регионов). В связи с вышеизложенным, для настоящего исследования стабильности системы автоматической локализации транспортных средств выбрана архитектура Faster R-CNN с FPN. Используемая в данной работе система представлена на рисунке 1.

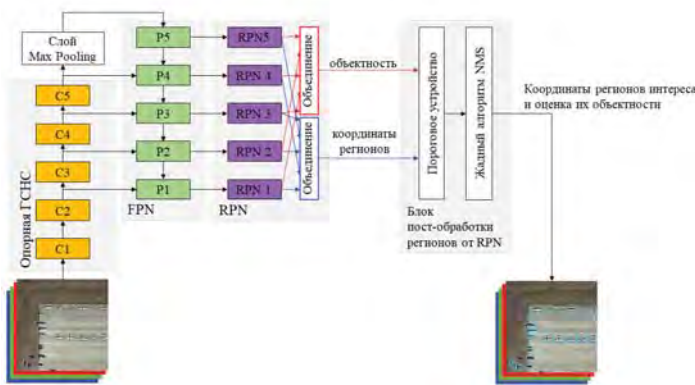


Рис. 1. Упрощенная структура анализируемой системы локализации транспортных средств на аэрофотоснимках

В качестве опорной ГСНС решено использовать хорошо зарекомендовавшую себя в задачах распознавания объектов на изображении СНС ResNet-50 [31], обладающую свойством извлечения глубоких абстрактных признаков из входного изображения. Такая сеть обходит глобальную проблему глубоких нейронных сетей – проблему исчезающего градиента – путем включения в последовательно соединенные свёрточные слои блоков соединения быстрого доступа.

Архитектура ResNet-50 изначально представляет собой пять последовательно соединенных свёрточных блоков (C1, C2, C3, C4 и C5), за которыми следует детекторная часть, состоящая из слоя субдискретизации (Max Pooling) и полносвязного слоя для классификации образов на изображении. Однако, в качестве опорной сети в составе системы обнаружения объектов необходимо использовать только полностью свёрточную часть данной ГСНС (пять свёрточных блоков предварительно обученной СНС ResNet-50). Пирамидальная архитектура FPN [29] использует разномасштабную информацию из опорной ГСНС. Так, на входы FPN поступают карты

признаков, полученные с выходов свёрточных блоков C2, C3, C4 и C5. Карты признаков с разными пространственными размерами, полученные с выходов сети FPN (P1, P2, P3, P4 и P5), поступают на ряд сетей предложения регионов (RPN1, RPN2, RPN3, RPN4 и RPN5). Задача каждого модуля RPN состоит в генерации ограничивающих рамок из входных карт признаков, причем каждый предсказанный регион содержит оценку нахождения в нем не зависящего от класса объекта (объектность). Так, анализируемая система представляет собой полностью свёрточную архитектуру, позволяющую обрабатывать изображения с любыми пространственными размерами и извлекать информацию об объектах, не зависящих от их класса.

Полученная с выходов всех подсистем предложения регионов (RPN) информация объединяется и поступает в блок пост-обработки, который не принимает участия в процессе обучения, но необходим на этапе оценки качества работы анализируемой системы для извлечения релевантных регионов из выходных данных модулей RPN. Блок пост-обработки состоит из порогового устройства и жадного алгоритма не максимального подавления (non-maximum suppression, NMS).

Пороговое устройство пропускает регионы от RPN с оценкой объектности не менее 0,5, которые поступают на вход алгоритма NMS, который в свою очередь оставляет только один регион с наивысшей оценкой объектности из множества перекрывающихся регионов (порог перекрытия равен 0,7) [28]. Такие параметры пост-обработки позволяют охватить больше релевантных объектов с наименьшей вероятностью потери интересующих объектов. В качестве функции потерь используется та же функция, что и в оригинальной системе Faster R-CNN [28], а для ее минимизации применяется алгоритм стохастического градиентного спуска [35].

Таким образом, на вход исследуемой системы поступает изображение с варьируемым пространственным разрешением, а выходной информацией является набор координат областей-кандидатов, с высокой вероятностью содержащих объекты.

Способ оценки качества работы систем локализации объектов

Ввиду того, что системы предложения регионов генерируют варьируемое количество регионов, потенциально содержащих объекты интереса, оценка качества таких систем сильно отличается от оценки качества традиционных систем обнаружения объектов с их последующей идентификацией. Так, классический показатель mean Average Precision (mAP) не может быть применен. В системах предложения регионов важно иметь высокий охват интересующих объектов, т.к. потерянные регионы не могут быть восстановлены для последующей стадии их классификации. Таким образом, одним из основных показателей оценки предложений регионов является метрика полноты (recall), определяющая долю правильно обнаруженных истинных объектов [3].

Для определения полноты, обеспечиваемой системой предложения регионов, необходимо вычислить меру совпадения предложенного моделью региона с ограничивающей рамкой истинного объекта. Для этой цели используется метрика

отношения пересечения к объединению (intersection over union, IoU), которая вычисляется как отношение площади пересечения к площади объединения истинного и предсказанного прямоугольников. В случае, когда метрика *IoU* превышает некоторый заданный порог (обычно, в диапазоне от 0,5 до 1), истинный объект считается обнаруженным и классифицированным как истинно-положительный. Если же истинный объект не был обнаружен моделью (т.е. ни одна предсказанная ограничивающая рамка с ним не имеет перекрытия *IoU* выше определенного порога), то объект классифицируется как ложноотрицательный. Формула вычисления полноты обнаружения *R*:

$$R = \frac{\sum_{j=1}^S p_j}{\sum_{j=1}^S p_j + \sum_{j=1}^{L-S} n_j}$$

где p_j – количество истинно-положительных предсказаний, n_j – количество ложноотрицательных предсказаний, L – количество всех истинных объектов, из которых S объектов предсказано системой обнаружения верно ($S \leq L$), j – номер предсказанного ограничивающего потенциальный объект прямоугольника. В целях отвязки метрики качества от величины пороговой меры пересечения (*IoU*), изменением которого можно манипулировать оценкой полноты обнаружения, существует метрика усредненной полноты обнаружения (Average Recall, AR), которая рассчитывается как площадь под кривой полноты обнаружения *R* при значении пороговой меры пересечения *IoU* в диапазоне от 0.5 до 1:

$$AR = 2 \cdot \int_{0.5}^1 R(IoU) d(IoU) \quad (1)$$

Получаем, что метрика усредненной полноты обнаружения *AR* суммирует эффективность предложения при различных значениях пороговой меры перекрытия. Известно, что метрика усредненной полноты обнаружения *AR* коррелирует с конечной эффективностью обнаружения лучше, чем другие показатели [3].

Набор данных для обучения и тестирования

В настоящее время в задачах обнаружения разномасштабных объектов на аэрофотоснимках широко используется ряд наборов данных, например, NWPU VHR-10 [32], COWC [33], VEDAI [34] и DOTA [30]. В целях исследования способности рассматриваемой системы извлекать области, содержащие разнообразные транспортные средства на размытых аэрофотоснимках, используется набор данных DOTA [30], который содержит наибольшее количество аннотированных объектов по сравнению с другими перечисленными наборами данных. В наборе данных DOTA [30] представлены транспортные средства в пяти категориях, а пространственные размеры изображений варьируют от 800 до 4000 пикселей. Для обучения и анализа качества работы описанной выше архитектуры обнаружения регионов изображения исходного набора данных [30] разделены на обучающую выборку и тестовую выборку, соответственно.

Эффект размытия представляет собой ухудшение качества изображения, вызванное усреднением яркостей ближайших пикселей. Размытое изображение может быть смоделировано с помощью применения операции свёртки исходного неискаженного изображения и ядра размытия, которое представляет собой фильтр нижних частот, приводящее к потере или ослаблению высокочастотных деталей изображения (т.е. уменьшению резкости изображения). В данной работе в качестве искажений используется гауссово размытие, которое реализовано путем применения операции двумерной свёртки матрицы изображения с ядром гауссовых значений размером $2k+1$ при заданном радиусе ядра размытия k , которое представляет собой целое неотрицательное число:

$$I_{blur}(x, y) = \sum_{m=-k}^k \sum_{n=-k}^k g_{norm}(m, n) \cdot I(x-m, y-n),$$

где $I(x, y)$ – матрица неискаженного цветного изображения, значения которого находятся в диапазоне от 0 до 255 и представляют собой значения яркости пикселей в каждом RGB-канале, $I_{blur}(x, y)$ – матрица размытого изображения, значения которого также находятся в диапазоне от 0 до 255, $g_{norm}(x, y)$ – двумерное ядро размытия, причем сумма величин ядра равна единице, т.е.:

$$g_{norm}(x, y) = \frac{g(x, y)}{\sum_{m=-k}^k \sum_{n=-k}^k g(m, n)}, \quad x \in [-k; k], \quad y \in [-k; k], \quad (2)$$

$$g(x, y) = \frac{1}{2\pi d^2} \cdot e^{-\frac{x^2+y^2}{2d^2}}, \quad x \in [-k; k], \quad y \in [-k; k]. \quad (3)$$

где $g(x, y)$ – ненормированное двумерное ядро размытия.

В данной работе используются гауссовы ядра с варьируемым параметром стандартного отклонения d и радиуса ядра k , причем

$$k = \max(1, \lceil d \rceil),$$

где $\lceil \cdot \rceil$ – операция округления в большую сторону. Так, в данной работе степень искажения, применяемого к изображению, в дальнейшем будет описываться единственным параметром – стандартным отклонением гауссовых значений d . На рисунке 2 представлены проекции ядер, полученных по формулам (2)–(3) (при $y=0$ в выражении (2)), для трех различных значений стандартного отклонения d .

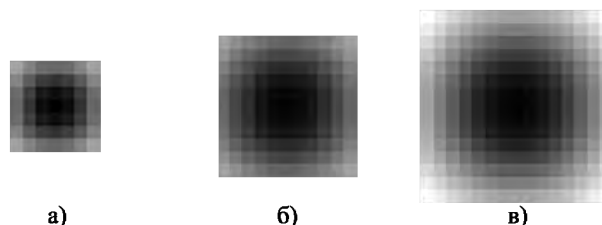


Рис. 2. Двумерные изображения гауссовых ядер размытия для трех различных значений степеней искажений d и размеров ядра размытия k : а) $d=3, k=3$; б) $d=5, k=5$; в) $d=7, k=7$



Из рисунка 2 видно, что с увеличением стандартного отклонения гауссовых величин d увеличивается количество соседних пикселей, которые участвуют в размытии изображений.

Способ добавления искажений в обучающие наборы данных

Опыт предыдущих исследований [19-26] показывает, что включение в обучающую выборку одновременно неискаженных и искаженных изображений показывает более высокую производительность ГСНС. Однако нет исследований, определяющих долю неискаженных и искаженных изображений в обучающей выборке, а также диапазон изменения уровня искажений, позволяющий добиться повышения качества распознавания, стабильности и робастности нейронной сети. В настоящей работе в качестве уровня искажения изображений d в обучающей выборке предложено использовать модуль случайной величины, подчиняющейся нормальному распределению с нулевым средним значением и стандартным отклонением σ_{train} . На рисунке 3 изображены графики плотностей вероятности уровня искажений d в обучающих наборах данных в соответствии с параметром σ_{train} , причем каждый график описывает оценку доли обучающей выборки, которая размывается в соответствии с параметром искажения d .

Из рисунка 3 видно, что при $\sigma_{train}=1$ большая доля обучающего набора данных имеет степень искажений d в диапазоне от 0 до 1, при $\sigma_{train}=5$ обучающий набор данных содержит изображения с уровнями искажений d , изменяющимися в широком диапазоне (примерно от 0 до 10). В ходе настоящего исследования была поставлена цель исследовать влияние распределения уровня искажений в обучающей выборке σ_{train} на качество распознавания тестовых изображений.

Исследование робастности анализируемой системы локализации объектов при различных распределениях уровней гауссова размытия в обучающей выборке

Под робастностью в данном исследовании понимается устойчивость работы ГСНС при различных уровнях искажений входных изображений. Для более полного поиска и анализа способности анализируемой системы локализации транспортных средств на аэрофотоснимках Земли были подготовлены следующие модели: «Модель 0» – модель, обученная на исходной (без искажений) обучающей выборке, «Модель 1», «Модель 2», «Модель 3», «Модель 4» и «Модель 5» – модели, обученные на наборах данных, изображения которых искажены в соответствии с правилом, описанном выше с параметрами $\sigma_{train}=1$, $\sigma_{train}=2$ и $\sigma_{train}=3$, $\sigma_{train}=4$ и $\sigma_{train}=5$, соответственно.

На рисунке 4 представлены кривые зависимости величины усредненной полноты обнаружения AR (1) перечисленных выше моделей от различной степени искажений тестового набора данных σ_{test} . Здесь тестовый набор данных размывается с фиксированным значением σ_{test} .

Из рисунка 4 видно, что при обучении и тестировании ГСНС на неискаженных данных «Модель 0» показывает наивысшую производительность, но с увеличением степени размытия тестовых данных σ_{test} качество обнаружения быстро падает. В случае увеличения разброса степени искажений в обучающей выборке (т.е. с увеличением σ_{train}) видно, что уровень усредненной полноты анализируемой системы уменьшается медленнее при больших значениях искажений в тестовом наборе данных σ_{test} , однако, на исходных (без искажений) данных оценка качества обнаружения заметно падает.

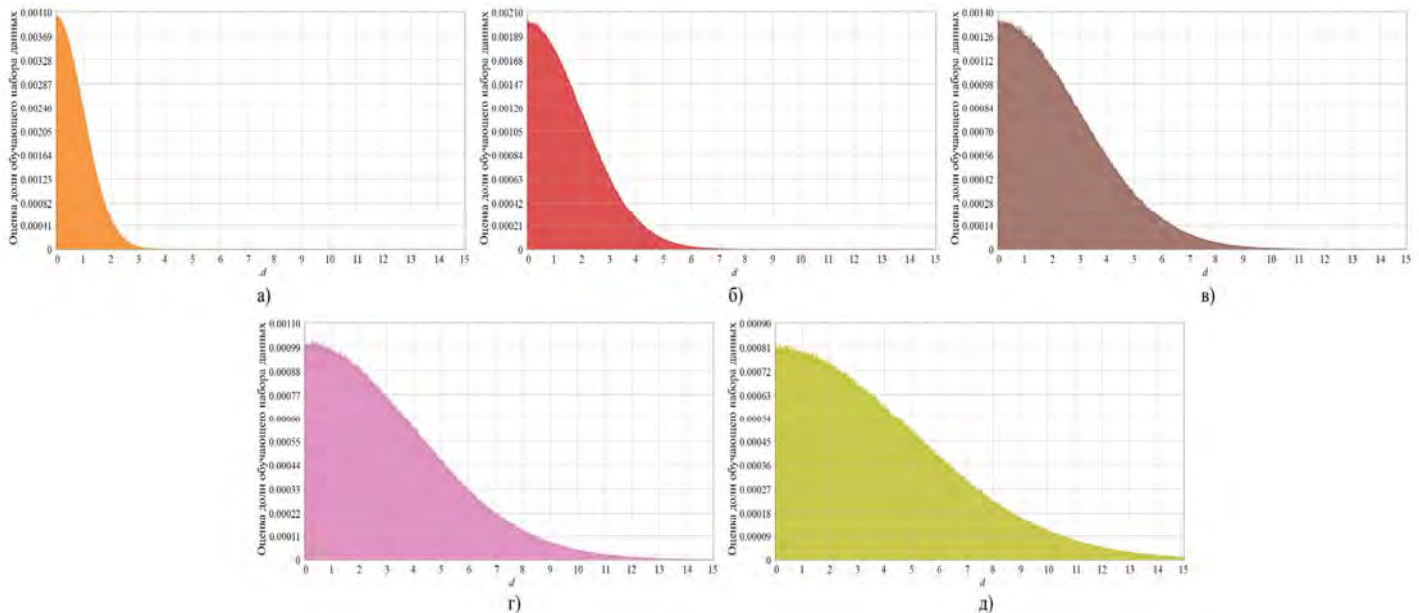


Рис. 3. Графики плотностей вероятности уровня искажений изображений d в обучающем наборе данных при:
 а) $\sigma_{train}=1$; б) $\sigma_{train}=2$; в) $\sigma_{train}=3$; г) $\sigma_{train}=4$; д) $\sigma_{train}=5$

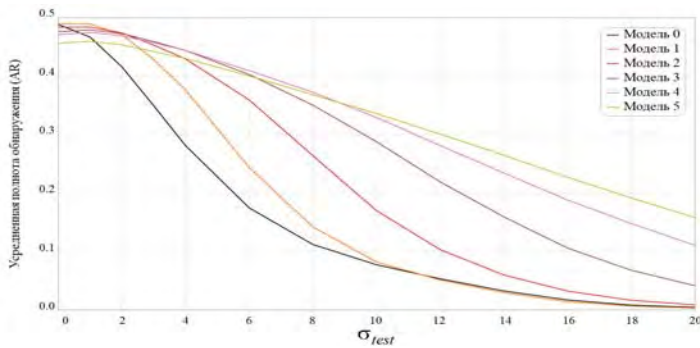


Рис. 4. Графики зависимости метрики усредненной полноты AR от степени искажений в тестовом наборе данных σ_{test} для моделей «Модель 0» (черная кривая), «Модель 1» (оранжевая кривая), «Модель 2» (красная кривая), «Модель 3» (коричневая кривая), «Модель 4» (розовая кривая) и «Модель 5» (зеленая кривая)

Таким образом, можно сделать вывод, что существует оптимальное значение σ_{train}^{opt} , при котором модель, обученная с данным параметром, будет иметь довольно высокий охват истинных объектов на неискаженных или слабо размытых входных данных и медленно ухудшаться с ростом степени искажений входных изображений, что позволяет достичь высокой обобщающей способности модели.

Как описано ранее, для оценки полноты обнаружения системой локализации объектов используется метрика перекрытия истинного объекта с лучшей предсказанной ограничивающей рамкой – IoU . На рисунке 5 представлены контурные тепловые карты для моделей «Модель 0», «Модель 1», «Модель 2», «Модель 3», «Модель 4» и «Модель 5», на которых цветом показана доля правильно обнаруженных и локализованных транспортных средств на аэрофотоснимках Земли R от метрики перекрытия IoU . Данные карты показывают, что чем точнее предсказаны ограничивающие рамки (т.е. чем выше их метрика перекрытия с истинными объектами IoU), тем выше на контурных графиках будет отображаться более интенсивный красный цвет.

На рисунке 5 видно, что пятно, показывающее наивысший уровень полноты, растекается на большие значения σ_{test} с увеличением разброса искажений в обучающей выборке σ_{train} , что подтверждает описанное выше наблюдение.

Однако стоит отметить, что несмотря на то, что доля правильно обнаруженных объектов растет с увеличением σ_{train}

при больших уровнях размытия в тестовой выборке, мера перекрытия обнаруженных объектов с истинными падает, что может являться следствием размытия границ объектов.

Таким образом, можно заключить, что избыточное размытие обучающих изображений, несмотря на рост метрики усредненной полноты обнаружения, приводит к нежелательным результатам в виде снижения меры перекрытия границ предложенных нейронной сетью регионов интереса с истинными объектами на изображении. Оптимальный уровень размытия следует искать, исходя из компромисса между ростом метрики качества системы локализации объектов и снижением метрики пересечения их границ с границами истинных объектов.

Заключение

В ходе решения проблемы влияния размытия аэрофотоизображений Земли на качество обнаружения объектов при мониторинге был предложен способ эффективного обучения ГСНС путем аугментации обучающих изображений. В результате проведенного моделирования удалось экспериментально показать, что размытие изображений в обучающем наборе данных с интенсивностью, описываемой положительной ветвью распределения Гаусса, может являться эффективным способом аугментации. Выбор дисперсии этого распределения (и, соответственно, доли искаженных изображений и уровня их искажений в обучающем наборе) обусловлен двумя конкурирующими процессами – ростом метрики усредненной полноты обнаружения и снижением метрики перекрытия границ между предсказанными нейронной сетью регионов интереса и истинными объектами на изображении по мере увеличения дисперсии уровня размытия входного изображения.

В частности, достаточно эффективная «Модель 2», обученная на наборе данных с параметром разброса уровней размытия $\sigma_{train}=2$, демонстрирует прирост полноты обнаружения более, чем в 2 раза при уровнях искажения тестовых данных в диапазоне $6 \leq \sigma_{test} \leq 12$, по сравнению с обученной на неискаженных изображениях.

Выбор оптимального значения параметра разброса уровней размытия обучающих изображений должен в каждой задаче определяться особенностями обнаруживаемых объектов и взаимодействием между блоками локализации и классификации в обобщенной структуре нейросетевого обнаружителя. Этому будут посвящены дальнейшие исследования.

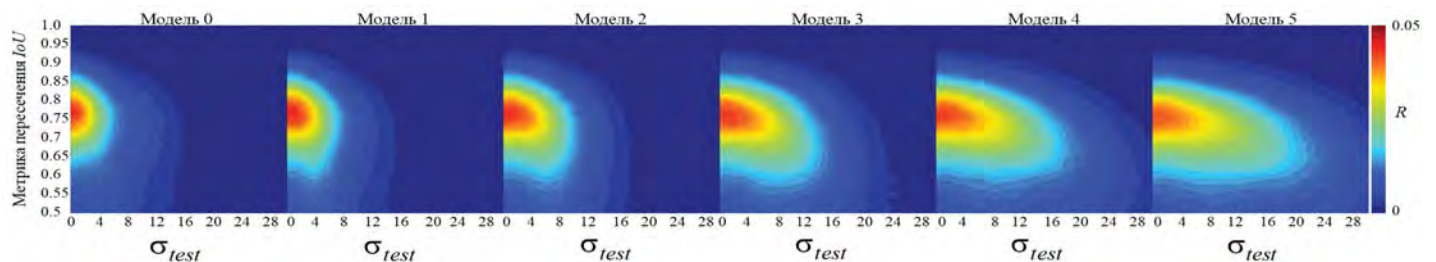


Рис. 5. Тепловые контурные карты зависимости доли правильно обнаруженных и локализованных транспортных средств на аэрофотоснимках R от метрики их перекрытия с истинными объектами IoU для моделей «Модель 0», «Модель 1», «Модель 2», «Модель 3», «Модель 4» и «Модель 5» при различных уровнях размытия тестовых данных σ_{test}

Литература

1. Zhang L., Zhang L., Du B. Deep Learning for Remote Sensing Data: A Technical Tutorial on the State of the Art // IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine, 2016, vol. 4, № 2, pp. 22-40, doi:10.1109/MGRS.2016.2540798.
2. Qingyun F., Lin Z., Zhaokui W. Efficient Feature Pyramid Network for Object Detection in Remote Sensing Imagery // IEEE Access, 2020, vol. 8, pp. 93058-93068, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2993998.
3. Hosang J., Benenson R., Dollar P., Schiele B. What Makes for Effective Detection Proposals? // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2016, vol. 38, № 4, pp. 814-830, doi: 10.1109/TPAMI.2015.2465908.
4. Зиядинов В.В., Курочкин П.С., Терешонок М.В. Оптимизация обучения сверточных нейронных сетей при распознавании изображений с низкой плотностью точек // Радиотехника и электроника, 2021, Т. 66, № 12, сс. 1207-1215, doi: 10.31857/S0033849421120202.
5. Huang J., Rathod V., Sun C., Zhu M., Korattikara A., Fathi A., Fischer I., Wojna Z., Song Y., Guadarrama S., Murphy K. Speed/Accuracy Trade-Offs for Modern Convolutional Object Detectors // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2017, pp. 3296-3297.
6. Makiuchi A., Saji H. Vehicle detection using aerial images in disaster situations // International Conference on Global Research and Education. – Springer, Cham, 2019, doi:10.1007/978-3-319-99834-3_25.
7. Yang X., Sun H., Fu K., Yang J., Sun X., Yan M., Guo Z. Automatic Ship Detection in Remote Sensing Images from Google Earth of Complex Scenes Based on Multiscale Rotation Dense Feature Pyramid Networks // Remote Sensing, 2018, vol. 10, № 1, p.132, doi:10.3390/rs10010132.
8. Huang B., Zhao B., Song Y. Urban land-use mapping using a deep convolutional neural network with high spatial resolution multispectral remote sensing imagery // Remote Sensing of Environment, 2018, vol. 214, pp. 73–86, doi:10.1016/j.rse.2018.04.050.
9. Bejiga M., Zeggada A., Nouffidj A., Melgani F. A Convolutional Neural Network Approach for Assisting Avalanche Search and Rescue Operations with UAV Imagery // Remote Sensing, 2017, vol. 9(2), p. 100, doi:10.3390/rs9020100.
10. Dodge S., Karam L., Understanding how image quality affects deep neural networks // Eighth International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX), 2016, doi: 0.1109/QoMEX.2016.7498955.
11. Li L., Pan J., Lai W.-S., Gao C., Sang N., Yang M.-H. Learning a Discriminative Prior for Blind Image Deblurring // IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2018.
12. Chakrabarti A. A Neural Approach to Blind Motion Deblurring // Lecture Notes in Computer Science, 2016, pp. 221-235.
13. Kupyn O., Budzan V., Mykhailych M., Mishkin D., Matas J. DeblurGAN: Blind Motion Deblurring Using Conditional Adversarial Networks // IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2018, pp. 8183-8192.
14. Sun J., Wenfei Cao, Zongben Xu, Ponce J. Learning a convolutional neural network for non-uniform motion blur removal // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2015, pp. 769-777.
15. Zhang K., Zuo W., Zhang L. Deep Plug-And-Play Super-Resolution for Arbitrary Blur Kernels // IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2019, pp. 1671-1681.
16. Ding C., Ta D. Trunk-Branch Ensemble Convolutional Neural Networks for Video-Based Face Recognition // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2018, vol.40, № 4, pp. 1002–1014, doi:10.1109/TPAMI.2017.2700390.
17. Liu D., Cheng B., Wang Z., Zhang H., Huang T. S. Enhance Visual Recognition under Adverse Conditions via Deep Networks // IEEE Transactions on Image Processing, 2019, vol.28, № 9, pp. 4401-4412, doi:10.1109/TIP.2019.2908802.
18. Akkoca Gazioğlu B. S., Kamaşak M. E. Effects of objects and image quality on melanoma classification using deep neural networks // Biomedical Signal Processing and Control, 2021, vol. 67, p. 102530, doi:10.1016/j.bspc.2021.102530.
19. Zhou Y., Song S., Cheung N.-M. On classification of distorted images with deep convolutional neural networks // IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2017, pp. 1213-1217, doi:10.1109/ICASSP.2017.7952349.
20. Dodge S., Karam L. A Study and Comparison of Human and Deep Learning Recognition Performance under Visual Distortions // 26th International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN), 2017, doi: 10.1109/ICCCN.2017.8038465.
21. Isaev I., Dolenko S. Adding noise during training as a method to increase resilience of neural network solution of inverse problems: test on the data of magnetotelluric sounding problem // International Conference on Neuroinformatics, 2018, pp. 9-16, doi: 10.1007/978-3-319-66604-4_2.
22. Vasiljevic I., Chakrabarti A., Shakhnarovich G. Examining the impact of blur on recognition by convolutional networks, 2016.
23. Pei Y., Huang Y., Zou Q., Zhang X., Wang S. Effects of Image Degradation and Degradation Removal to CNN-based Image Classification // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2019, vol. 43, № 4, pp. 1239-1253, doi: 10.1109/TPAMI.2019.2950923.
24. Ziyadinov V., Tereshonok M. Noise Immunity and Robustness Study of Image Recognition Using a Convolutional Neural Network // Sensors, vol. 22, 2022, p.1241.
25. Ziyadinov V. V., Tereshonok M. V. Neural Network Image Recognition Robustness with Different Augmentation Methods // 2022 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO), 2022, pp. 1-4, doi: 10.1109/SYNCHROINFO55067.2022.9840987.
26. Ильина О.В., Терешонок М.В. Исследование помехоустойчивости глубокой сверточной нейронной сети при обнаружении транспортных средств на аэрофотоснимках Земли // Радиотехника и электроника, 2022, Т.67, № 2. С. 166-173, doi:10.31857/S0033849422020048.
27. Lin T.-Y., Goyal P., Girshick R., He K., Dollar P. Focal Loss for Dense Object Detection // IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2017, doi: 10.1109/ICCV.2017.324.
28. Ren S., He K., Girshick R., Sun J. Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 39, № 6, 2017, pp. 1137-1149.
29. Lin T.-Y., Dollar P., Girshick R., He K., Hariharan B., Belongie S. Feature Pyramid Networks for Object Detection // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2017, pp. 2117-2125, doi: 10.1109/CVPR.2017.106.
30. Xia G.-S., Bai X., Ding J., Zhu Z., Belongie S., Luo J., Datcu M., Pelillo M., Zhang L. DOTA: A Large-Scale Dataset for Object Detection in Aerial Images // IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2018, pp. 3974-3983, doi: DOTA: A Large-Scale Dataset for Object Detection in Aerial Images.
31. He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Deep Residual Learning for Image Recognition // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016, pp. 770-778, doi: 10.1109/CVPR.2016.90.
32. Cheng G., Zhou P., Han J. Learning Rotation-Invariant Convolutional Neural Networks for Object Detection in VHR Optical Remote Sensing Images // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2016, vol. 54, № 12, pp. 7405-7415, doi: 10.1109/TGRS.2016.2601622.
33. Mundhenk T. N., Konjevod G., Sakla W. A., Boakye K. A Large Contextual Dataset for Classification, Detection and Counting of Cars with Deep Learning // Lecture Notes in Computer Science, 2016, pp. 785-800, doi:10.1007/978-3-319-46487-9_48.
34. Razakarivony S., Jurie F. Vehicle detection in aerial imagery: A small target detection benchmark // Journal of Visual Communication and Image Representation, 2016, vol. 34, pp. 187-203, doi: 10.1016/j.jvcir.2015.11.002.
35. LeCun Y. A., Bottou L., Orr G. B., Müller K.-R. Efficient BackProp // Neural Networks: Tricks of the Trade, 2012, pp. 9-48.

A DEEP CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK TRAINING TECHNIQUE FOR REMOTE SENSING ROBUST OBJECT LOCALIZATION

OLGA V. ILINA

Moscow, Russia, o.v.ilina@mtuci.ru

MAXIM V. TERESHONOK

Moscow, Russia, m.v.tereshonok@mtuci.ru

ABSTRACT

Introduction: At present, aerial photographic object detection systems using deep convolutional neural networks are heavily used. However, in the case of remote sensing of the Earth, the quality of images can be extremely low due to a variety of negative phenomena. The most common distortion in the images is the Gaussian blur, which leads to a reduction in the clarity of the objects in these images, which in turn greatly reduces the effectiveness of the object detection system. **Purpose:** the purpose of the paper is to improve robustness (distortion performance) of the convoluted neural network in the system of localization of objects on blurred aerial photographs without the use of additional pre-processing or post-processing units, which results in unnecessary computing costs. **Methods:** to achieve the main goal, using training data augmentation by including blurred images with various levels of distortion is proposed. **Results:** The simulation has shown that, as the fraction of distorted

KEYWORDS: *training, augmentation, image distortion, Gaussian blur, deep convolutional neural network, object localization, aerial imagery, remote sensing.*

images increases and the level of distortion raises, the training dataset increases the metric of the average recall of the vehicle localization system on distorted test images. At the same time, however, there is a decline in the metric of intersection of the predicted regions of interest with the true objects in the same distorted test images. The study has shown the existence of an optimal level of image distortion in the training dataset to produce the most stable (robust) deep convolutional neural networks. Problem is solved on the example of localization of vehicles on aerial photographs of the Earth. **Practical relevance:** the proposed method makes it possible to increase the efficiency of the system for localizing objects on distorted aerial images without increasing the computational complexity. **Discussion:** Further detailed studies of deep convolutional neural networks behavior in the real world, namely, under various image distortions, will allow to increase robustness in a wide variety of situations.

REFERENCES

- Zhang L., Zhang L., Du B. (2016). Deep Learning for Remote Sensing Data: A Technical Tutorial on the State of the Art. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, vol. 4, no. 2, pp. 22-40, doi:10.1109/MGRS.2016.2540798.
- Qingyun F., Lin Z., Zhaokui W. (2020). Efficient Feature Pyramid Network for Object Detection in Remote Sensing Imagery. *IEEE Access*, vol. 8, pp. 93058-93068, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2993998.
- Hosang J., Benenson R., Dollar P., Schiele B. (2016). What Makes for Effective Detection Proposals? *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 38, no. 4, pp. 814-830, doi: 10.1109/TPAMI.2015.2465908.
- Ziyadinov V. V., Kurochkin P. S., Tereshonok M. V. (2021). Convolutional neural network training optimization for low point density image recognition. *Journal of communications technology and electronics*, vol. 66, no. 12, pp. 1363-1369, doi: 10.1134/S1064226921120202.
- Huang J., Rathod V., Sun C., Zhu M., Korattikara A., Fathi A., Fischer I., Wojna Z., Song Y., Guadarrama S., Murphy K. (2017). Speed/Accuracy Trade-Offs for Modern Convolutional Object Detectors. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp. 3296-3297.
- Makiuchi A., Saji H. (2019). Vehicle detection using aerial images in disaster situations. *International Conference on Global Research and Education*. Springer, Cham, doi:10.1007/978-3-319-99834-3_25.
- Yang X., Sun H., Fu K., Yang J., Sun X., Yan M., Guo Z. (2018). Automatic Ship Detection in Remote Sensing Images from Google Earth of Complex Scenes Based on Multiscale Rotation Dense Feature Pyramid Networks. *Remote Sensing*, vol. 10, no. 1, p. 132, doi:10.3390/rs10010132.
- Huang B., Zhao B., Song Y. (2018). Urban land-use mapping using a deep convolutional neural network with high spatial resolution multispectral remote sensing imagery. *Remote Sensing of Environment*, vol. 214, pp. 73-86, doi:10.1016/j.rse.2018.04.050.
- Bejiga M., Zeggada A., Nouffidj A., Melgani F. (2017). A Convolutional Neural Network Approach for Assisting Avalanche Search and Rescue Operations with UAV Imagery. *Remote Sensing*, vol. 9(2), p. 100, doi:10.3390/rs9020100.
- Dodge S., Karam L. (2016). Understanding how image quality affects deep neural networks. *Eighth International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX)*, doi: 0.1109/QoMEX.2016.7498955.
- Li L., Pan J., Lai W.-S., Gao C., Sang N., Yang M.-H. (2018). Learning a Discriminative Prior for Blind Image Deblurring. *IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2018.
- Chakrabarti A. A Neural Approach to Blind Motion Deblurring (2016). *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 221-235.
- Kupyn O., Budzan V., Mykhailych M., Mishkin D., Matas J. (2018). DeblurGAN: Blind Motion Deblurring Using Conditional Adversarial Networks. *IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 8183-8192.
- Sun J., Wenfei Cao, Zongben Xu, Ponce J. (2015). Learning a convolutional neural network for non-uniform motion blur removal. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp. 769-777.
- Zhang K., Zuo W., Zhang L. (2018). Deep Plug-And-Play Super-Resolution for Arbitrary Blur Kernels. *IEEE/CVF Conference on*



Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 1671-1681.

16. Ding C., Ta D. (2018). Trunk-Branch Ensemble Convolutional Neural Networks for Video-Based Face Recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.40, № 4, pp. 1002-1014, doi:10.1109/TPAMI.2017.2700390.

17. Liu D., Cheng B., Wang Z., Zhang H., Huang T. S. (2019). Enhance Visual Recognition under Adverse Conditions via Deep Networks. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2019, vol.28, no. 9, pp. 4401-4412, doi:10.1109/TIP.2019.2908802.

18. Akkoca Gazioglu B. S., Kamasak M. E. (2021). Effects of objects and image quality on melanoma classification using deep neural networks. *Biomedical Signal Processing and Control*, 2021, vol. 67, p. 102530, doi:10.1016/j.bspc.2021.102530.

19. Zhou Y., Song S., Cheung N.-M. (2017). On classification of distorted images with deep convolutional neural networks. *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, pp. 1213-1217, doi:10.1109/ICASSP.2017.7952349.

20. Dodge S., Karam L. A Study and Comparison of Human and Deep Learning Recognition Performance under Visual Distortions // 26th International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN), 2017, doi: 10.1109/ICCCN.2017.8038465.

21. Isaev I., Dolenko S. (2018). Adding noise during training as a method to increase resilience of neural network solution of inverse problems: test on the data of magnetotelluric sounding problem. *International Conference on Neuroinformatics*, pp. 9-16, doi: 10.1007/978-3-319-66604-4_2.

22. Vasiljevic I., Chakrabarti A., Shakhnarovich G. (2016). Examining the impact of blur on recognition by convolutional networks.

23. Pei Y., Huang Y., Zou Q., Zhang X., Wang S. (2019). Effects of Image Degradation and Degradation Removal to CNN-based Image Classification. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 43, no. 4, pp. 1239-1253, doi: 10.1109/TPAMI.2019.2950923.

24. Ziyadinov V., Tereshonok M. (2022). Noise Immunity and Robustness Study of Image Recognition Using a Convolutional Neural Network. *Sensors*, vol. 22, p.1241.

25. Ziyadinov V. V., Tereshonok M. V. (2022). Neural Network Image Recognition Robustness with Different Augmentation Methods. *2022 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO)*, pp. 1-4, doi: 10.1109/SYNCHROINFO55067.2022.9840987.

26. Iliina O. V., Tereshonok M. V. (2022). Robustness study of a deep convolutional neural network for vehicle detection in aerial imagery. *Journal of communications technology and electronics*, vol. 67, no. 2, pp. 164-170, doi: 10.1134/S1064226922020048.

27. Lin T.-Y., Goyal P., Girshick R., He K., Dollar P. (2017). Focal Loss for Dense Object Detection. *IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, doi: 10.1109/ICCV.2017.324.

28. Ren S., He K., Girshick R., Sun J. (2017). Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 39, no. 6, pp. 1137-1149.

29. Lin T.-Y., Dollar P., Girshick R., He K., Hariharan B., Belongie S. (2017). Feature Pyramid Networks for Object Detection. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp. 2117-2125, doi: 10.1109/CVPR.2017.106.

30. Xia G.-S., Bai X., Ding J., Zhu Z., Belongie S., Luo J., Datcu M., Pelillo M., Zhang L. (2018). DOTA: A Large-Scale Dataset for Object Detection in Aerial Images. *IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 3974-3983, doi: DOTA: A Large-Scale Dataset for Object Detection in Aerial Images.

31. He K., Zhang X., Ren S., Sun J. (2016). Deep Residual Learning for Image Recognition. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp. 770-778, doi: 10.1109/CVPR.2016.90.

32. Cheng G., Zhou P., Han J. (2016). Learning Rotation-Invariant Convolutional Neural Networks for Object Detection in VHR Optical Remote Sensing Images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 54, no. 12, pp. 7405-7415, doi: 10.1109/TGRS.2016.2601622.

33. Mundhenk T. N., Konjevod G., Sakla W. A., Boakye K. (2016). A Large Contextual Dataset for Classification, Detection and Counting of Cars with Deep Learning. *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 785-800, doi:10.1007/978-3-319-46487-9_48.

34. Razakarivony S., Jurie F. (2016). Vehicle detection in aerial imagery?: A small target detection benchmark. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, vol. 34, pp. 187-203, doi: 10.1016/j.jvcir.2015.11.002.

35. LeCun Y. A., Bottou L., Orr G. B., Muller K.-R. (2012). Efficient BackProp. *Neural Networks: Tricks of the Trade*, pp. 9-48.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Iliina O. V., Scientific Researcher, Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia

Tereshonok M. V., PhD, Docent, Head of Department, Science and Research Department, Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia

For citation: Iliina O. V., Tereshonok M. V. A Deep Convolutional Neural Network Training Technique for Remote Sensing Robust Object Localization. *H&ES Reserch*. 2022. Vol. 14. No 5. P. 4-13. doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-5-4-13 (In Rus)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ

ГРАЧЕВ

Михаил Иванович¹

БУРЛОВ

Вячеслав Георгиевич²

ГРАЧЕВА

Наталья Геннадьевна³

АННОТАЦИЯ

Введение. Современные темпы развития информационных систем и web-технологий все большими темпами внедряются в жизнедеятельность всего человечества, в том числе и в организационные системы, что требует совершенствования процессов управления и принятия решений. В современных источниках литературы рассмотрение процессов управления приводится на основе анализа, со стороны же синтеза математической модели управленческого решения они не рассматриваются, что позволяет считать проводимые исследования актуальной задачей. **Цели и задачи исследования:** Для руководителя организационной системой, решение задачи управления является важнейшей задачей основанной на комплексном взаимодействии всех подразделений управляемой системы. При возникновении в управляемой системе деструктивного воздействия у лица, принимающего решения должна быть модель управленческого решения, позволяющая своевременно принимать управленческие решения по противодействию возникающим угрозам. Противодействие осуществляется за счет ресурсов, которыми располагает лицо, принимающее решение. **Результаты исследования:** Математическая модель управленческого решения позволяет своевременно реагировать на возникающие угрозы в системе и принимать соответствующие управленческие решения с заданным уровнем показателя эффективности принимаемого решения. Применение дифференциальных уравнений Колмогорова, позволяет связывать нахождение системы математического моделирования с различными состояниями управляемой системы. Получаемый показатель эффективности принимаемого решения позволяет связать при рассмотрении целевого процесса три состояния системы, а именно процесса образования угрозы, процесса идентификации угрозы и процесса нейтрализации угрозы. Задавая требуемый показатель эффективности управленческого решения, позволяет руководителю своевременно реагировать на деструктивное воздействие, задействовать имеющиеся ресурсы, для гарантированного достижения цели управления.

Сведения об авторах:

¹ старший инженер информационного центра, Санкт-Петербургский университет МВД России, mig2500@mail.ru

² доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры комплексного обеспечения информационной безопасности, ФГБОУ ВО "ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова", burlovvg@mail.ru

³ заведующая кабинетом кафедры русского языка, Санкт-Петербургский университет МВД России, kng25@list.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: математическое моделирование, образовательная организация, решение задачи управления, организационные системы, лицо принимающее решение, дифференциальные уравнения Колмагорова

Для цитирования: Грачев М.И., Бурлов В.Г., Грачева Н.Г. Математическое моделирование организационных систем // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2022. Т. 14. № 5. С. 14-20. doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-5-14-20



Введение

В современном мире развитие информационных систем и технологий позволяет внедрять их во все сферы жизнедеятельности человека. Автоматизация процессов управления, внедрение web-технологий и программное on-line взаимодействие несомненно ускоряют достижение цели управления и принятие управленческих решений.

Развитие современного общества обусловлено развитием цифровых web-технологий, включающих в себя программный и аппаратный комплекс.

Программный комплекс включает в себя все программное обеспечение и его web-визуализацию, и интеграцию на современные интерфейсы управления: компьютеры, телевидение, планшеты, смартфоны и другие аппаратные средства.

Аппаратные средства включают в себя помимо указанных выше технических средств и комплексы серверного оборудования, увеличивающего свои мощности вместе с развитием требований цифровых информационных технологий.

Вместе с развитием информационно-телекоммуникационных технологий возрастает и количество информационных угроз. Увидеть количество информационных киберугроз, можно в режиме реального времени на web-интерактивной карте киберугроз на web-сайте Касперского [1], где представлена статистика киберугроз в виде:

1. OAS (от англ.: On-Access Scan) – в переводе автоматическая проверка. Данный показатель интерпретирует поток данных по вредоносным программам, обнаруженным во время запуска, открытия, копирования или сохранения файлов;

2. ODS – (от англ.: On Demand Scanner) – что в переводе означает проверка по требованию и показывает поток статистических данных по количеству вредоносным программам, возникающий в системе, когда пользователь вручную сканирует компьютер на вредоносные программы через меню [1];

3. MAV – (от англ.: Mail Anti-Virus) – что в переводе означает почтовый антивирус, который показывает поток данных по вредоносным программам, найденным среди новых объектов в почтовых приложениях. Данный почтовый антивирус проверяет входящие сообщения и запускает их автоматическую проверку при сохранении вложенных файлов, например на жесткий диск компьютера [1];

4. WAV – (от англ.: Web Anti-Virus) – что в переводе означает web-антивирус и показывает поток данных по вредоносным программам, идентифицированным при загрузке файлов и открытии HTML-страниц web-сайтов. Этот web-антивирус проверяет только те порты, которые указаны в его настройках [1];

5. IDS – (от англ.: Intrusion Detection Scan)- что в переводе означает система обнаружения вторжений и показывает обнаруженные сетевые атаки в виде потока данных [1];

6. VUL – (от англ.: Vulnerability Scan) – что в переводе означает поиск уязвимостей и по обнаруженным уязвимостям показывает поток данных [1];

7. KAS – (от англ.: Kaspersky Anti-Spam) – что в переводе означает Касперский Анти-Спам и показывает подозрительный или нежелательный почтовый трафик, обнаруженный с

помощью технологий репутационной фильтрации разработанной в «Лаборатории Касперского» [1];

8. BAD – (от англ. Botnet Activity Detection) – что в переводе означает мониторинг активности ботнетов и показывает статистику по выявленным IP-адресам жертв DDoS-атак и IP-адресам командных серверов ботнетов. Статистика собирается с помощью системы DDoS Intelligence, входящей в состав решения Kaspersky DDoS Prevention [1];

9. RMW – (от англ. Ransomware) – что в переводе означает поток обнаружения программ-вымогателей (Ransomware) [1].

Приведенные выше киберугрозы производят атаку на информационные ресурсы постоянно, в связи с этим требуется комплексный подход к решению вопроса противоборства с данными угрозами. Комплексный подход подразумевает постоянный мониторинг и развитие умений и навыков у персонала, отвечающего за кибербезопасность, а также содержание современного программно-аппаратного комплекса способного по своим качествам отражать данные атаки, что требует постоянного комплексного поддержания систем противодействия, что требует больших финансовых ресурсов [1].

Вопросы противодействия возникающим угрозам в системе управления становятся все более актуальными, так как не своевременное принятие мер грозит обернуться печальными последствиями. Важную роль на данном этапе необходимо будет уделять внедрению в комплекс управления организационной системой (ОС) для противодействия возникающим угрозам в системе управления и принятия решений web-технологиям способным распознавать и реагировать на раннем этапе [2].

Соответственно, методы ведения превентивных мер должны быть комплексными и включать в себя комплекс проводимых мероприятий, например таких как: сбор информации, её анализ, получение выводов и принятие соответствующих управленческих решений по противодействию. На этапе управления ОС руководителю как лицу, принимающему решения (ЛПР) необходимо располагать математической моделью, которая будет гарантировать достижение цели деятельности, и позволять решить сложившуюся ситуацию за счет ресурсов, которыми он располагает [3].

Как пример для противодействия возникающим угрозам в системе управления стало необходимо располагать различными ресурсами: защищенными сетями, современными аппаратно-программными комплексами, обученным кадровым составом, а также своевременным прохождением подготовки [4].

Помимо сказанного, необходимо заметить, что в современном обществе стало необходимо быстро проводить взаимодействие между людьми и организациями, что послужило развитию информационных электронных web-ресурсов, которые реализовались в информационных web-сайты организаций, предприятий, различных госструктур и прочих организаций [5].

На данные электронные информационные web-ресурсы также производятся кибератаки и лицу, отвечающему за работу данного ресурса, как и руководителю данной организации, необходимо располагать ресурсами мониторинга обнаружения угрозы и дальнейшего противодействия выявленной угрозе.

Развитие научных школ Санкт-Петербурга позволяет находить новые современные подходы к противодействию данным угрозам современности, проводить размышления и исследования в разрезе современных достижений научных знаний и практики, полученной от внедрения данных достижений в повседневную деятельность.

Научная школа «Системная интеграция процессов государственного управления» как раз занимается разработкой моделей управленческих решений [6, 7].

В работе, проводимой данной научной школы рассматриваются процессы синтеза математической модели управленческого решения ЛПР как превентивная мера на деструктивное воздействие извне, что позволяет построить адекватную обстановке модель [4].

Математическая модель позволяет производить расчеты, при которых достигается необходимый уровень эффективного управления [5].

На рисунке 1 схематично представлена зависимость по выработке команды на управление web-ресурсами с применением имеющихся ресурсов (резервов) [8, 9].

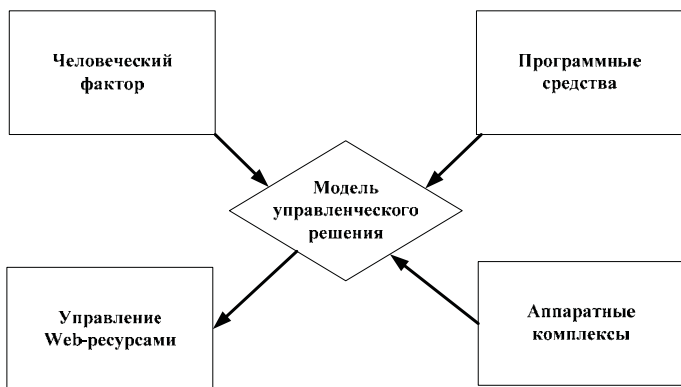


Рис. 1. Управление web-ресурсами через модель управленческого решения

Человеческим фактором мы будем понимать опыт, квалификацию, психофизиологические свойства, как отдельного человека, так и группы людей, задействованные для выполнения определенных задач по выработке управленческих решений, направленных на своевременное устранение возникающей угрозы в процессе анализа информационного потока [10].

Из анализа публикуемой литературы можно выделить следующих отечественных и зарубежных авторов, которые рассматривали вопрос, связанный с математическим моделированием и с применением программных методов исследования: М. Робсона, Ф. Уллах [11]; М. Хаммера, Д. Чампи [12]; А.В. Качалова [13, 14]; В.Ф. Королькова [15]; В.А. Садовничева, А.А. Акаева, А.В. Коротаяева, С.Ю. Малкова [16]; А.К. Гуца, В.В. Коробицына, А.А. Лаптева [17, 18]; А.Н. Колмогорова [19]; О.И. Ларичева [20]; А.В. Колесникова, Г.Г. Малинецкого, С.Н. Сиренко [21]; А.И. Орлова [22]; А.А. Самарского, А.П. Михайлова [23]; Дж. Форестера [24]; Г.Х. Гуда, Р.Э. Макола [25]; Б.А. Резникова, В.Н. Калинина [26, 27]; Ю.Г. Ростовцева [28]; Б. Андерсена [29];

Е.У. Деминга [30]; В.В. Ефимова [31]; В.В. Репина, В.Г. Елиферова [32] и других авторов.

Далее рассмотрим, понятие управленческого решения – в виде следующего рисунка позволяющего представить управленческое решение в виде трех базовых элементов обстановка или время проявления проблемы в системе управления $\Delta t_{ПП}$, информационно-аналитическая работа или время нахождения проблемы в системе управления $\Delta t_{ИП}$ и собственно принятие решения или время нейтрализации проблемы в системе управления $\Delta t_{НП}$, рисунок 2.

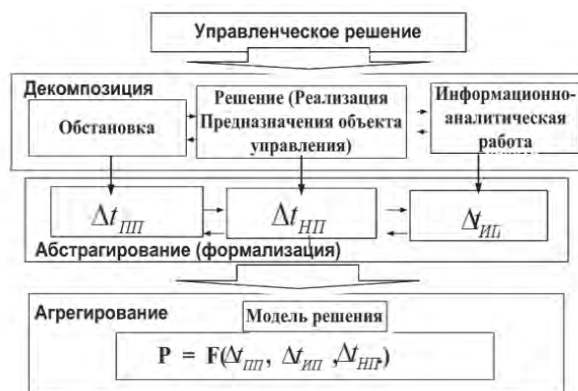


Рис. 2. Получение модели управленческого решения через декомпозицию, абстрагирование и агрегирование

В результате применения указанных на рисунке методов мы получили (синтезировали) математическую модель управленческого решения в виде следующего отношения, объединившего в себе три составляющие, а именно (1):

$$P = F(\Delta t_{ПП}, \Delta t_{ИП}, \Delta t_{НП}) \quad (1)$$

Полученное соотношение показывает показатель эффективности принимаемого управленческого решения ЛПР для требуемого уровня достижения безопасности системы управления, а само управленческое решение можно представить следующим рисунком 3.

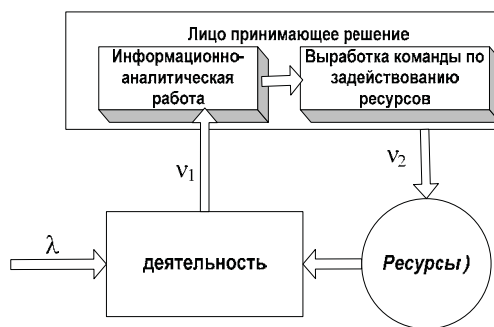


Рис. 3. Управление web-ресурсами через модель управленческого решения

На приведенном рисунке 3 обозначены следующие величины:

λ – величина, обратная среднему времени проявления проблемы в системе управления;

v_1 – величина, обратная среднему времени нахождения проблемы в системе управления;

v_2 – величина, обратная среднему времени нейтрализации проблемы в системе управления [33].

ЛППР может выполнять в различных сочетаниях две функции:

1. идентификация (распознавание) угрозы/проблемы в системе управления;
2. нейтрализация (реагирование) угрозы/проблемы в системе управления.

В связи с этим можно выделить 4 базовых состояния ЛППР (сочетание из 2-х по 2):

1. A_{00} – ЛППР не идентифицирует и не нейтрализует;
2. A_{10} – ЛППР идентифицирует и не нейтрализует;
3. A_{01} – ЛППР не идентифицирует и нейтрализует;
4. A_{11} – ЛППР идентифицирует и нейтрализует.

Обозначим P_{00} , P_{10} , P_{01} , P_{11} – вероятности нахождения системы в этих состояниях соответственно.

Для реализации такого подхода необходимо составить систему дифференциальных уравнений Колмогорова, которые связывают вероятности нахождения системы в различных состояниях, при этом эти уравнения не работают с абсолютными интервалами (время), а с относительными – с частотами (обратно пропорциональны времени) [33].

Итак, рассмотрим граф состояний процесса формирования управленческого решения без учета целевого процесса, который представлен на рисунке 4, где:

λ – интенсивность проявления проблемы в системе управления ($1/\Delta t_{\text{пр}}$);

v_1 – интенсивность нахождения проблемы в системе управления ($1/\Delta t_{\text{ин}}$);

v_2 – интенсивность нейтрализации проблемы в системе управления ($1/\Delta t_{\text{нп}}$).

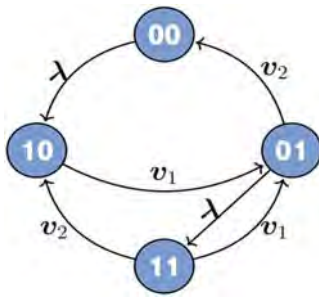


Рис. 4. Граф состояний процесса формирования управленческого решения

Составим систему дифференциальных уравнений Колмогорова-Чепмена (2):

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} P_{00}(t) &= -P_{00}(t)\lambda + P_{01}(t)v_2 \frac{d}{dt} P_{01}(t) = \\ &= -P_{01}(t)(\lambda + v_2) + P_{11}(t)v_1 + P_{10}(t)v_1 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{d}{dt} P_{10}(t) = P_{00}(t)\lambda - P_{10}(t)v_1 + P_{11}(t)v_2$$

$$\frac{d}{dt} P_{11}(t) = P_{01}(t)\lambda - P_{11}(t)(v_1 + v_2)$$

Переход от дифференциальных уравнений к алгебраическим уравнениям возможен при допущении, что переходные процессы отсутствуют, тогда производные $\frac{d}{dt} P_{00}(t) = 0$, по условию постоянства функции (производные равны нулю), кроме того, сумма всех вероятностей равна единице: $P_{00} + P_{01} + P_{10} + P_{11} = 1$ (3).

$$\begin{aligned} -P_{00}(t)\lambda + P_{01}(t)v_2 &= 0; \\ -P_{01}(t)(\lambda + v_2) + P_{11}(t)v_1 + P_{10}(t)v_1 &= 0; \\ P_{00}(t)\lambda - P_{10}(t)v_1 + P_{11}(t)v_2 &= 0; \\ P_{01}(t)\lambda - P_{11}(t)(v_1 + v_2) &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Искомые вероятности уже не зависят от времени [34]. Решением данной линейной алгебраической системы уравнений являются следующие соотношения (4):

$$\begin{aligned} P_{10} &= \frac{\lambda v_2 (\lambda + v_1 + v_2)}{(v_1 + v_2) [\lambda (\lambda + v_1 + v_2) + v_1 v_2]}; \\ P_{11} &= \frac{\lambda v_1}{(v_1 + v_2) [\lambda (\lambda + v_1 + v_2) + v_1 v_2]}; \\ P_{00} &= \frac{v_1 v_2}{\lambda (\lambda + v_1 + v_2) + v_1 v_2}; \\ P_{01} &= \frac{\lambda v_1}{\lambda (\lambda + v_1 + v_2) + v_1 v_2}. \end{aligned} \quad (4)$$

Аналитическая зависимость обобщённых характеристик обстановки ($\Delta t_{\text{пр}}$), информационно-аналитической деятельности ($\Delta t_{\text{ин}}$) и нейтрализации проблемы ($\Delta t_{\text{нп}}$), возникшей при управлении безопасностью рассматриваемого процесса – $P_{\text{инп}}$ показатель идентификации (вероятность того, что определенная проблема будет идентифицирована и нейтрализована). Данное соотношение (5) показывает уровень взаимодействия трех процессов: появления проблемы, ее идентификации и нейтрализации [4].

$$P_{\text{инп}} = P_{00} = \frac{v_1 v_2}{\lambda (\lambda + v_1 + v_2) + v_1 v_2} \quad (5)$$

Приемлемая $P_{\text{инп}} = 0,8$ и более.

Проводя дальнейшие расчеты, мы можем обеспечить необходимую степень достижения цели управления управляемой ОС с необходимой вероятностью, например не меньше 0,8, что является очень высоким показателем. Математически это когда $P_{00} = 0,8$ и $v_1 = v_2$ реализуется соотношение: v_1, v_2 примерно в 8 раз больше λ . Для $P_{00} = 0,9$ и $v_1 = v_2$, то реализуется соотношение: v_1, v_2 примерно в 9 раз больше λ , и направленное на решение задачи управления с большей интенсивностью и большим задействованием управленческого ресурса.

Соответственно, для достижения цели управления и получения математической модели, имея необходимый показатель управленческого решения, мы можем гарантированно достигать поставленной цели по противодействию возникающим различным угрозам в системе управления ОС и задействовать имеющиеся ресурсы своевременно.

Выводы

Для решения задачи управления ЛПР в ОС требуется математическая модель управленческого решения, которая в настоящее время в публикуемой литературе не представлена. Соответственно подход позволяющий разработать такую модель и своевременно помогать управленцу решать задачу противодействия возникающим угрозам в системе является актуальной задачей.

Описанный метод позволяет найти показатель эффективности принятия управленческого решения в управляемой системе. При известных различных данных, задавая требуемый показатель эффективности управленческого решения, руководитель, может своевременно противодействовать возникающим угрозам в системе управления, путем задействования имеющихся у него ресурсов как аппаратно-программных, web-интерфейса и кадрового состава управляемой системы.

Литература

1. Интерактивная карта киберугроз. Электронный ресурс <https://cybermap.kaspersky.com/ru>. Дата обращения 22.10.2022 г.
2. *Burlov V., Grachev M.* Management model in digital ecosystems // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Kaliningrad, 05-10 October 2020. Kaliningrad, 2021. P. 012010. DOI 10.1088/1755-1315/689/1/012010. EDN ALPCBO.
3. *Andreev A. V., Burlov V. G., Grachev M. I.* Information technologies and synthesis of the management process model in the enterprise // 2019 International Science and Technology Conference "EastConf", EastConf 2019, Vladivostok, 01-02 March 2019. Vladivostok, 2019. P. 8725428. DOI 10.1109/Eastonf.2019.8725428. EDN CDNIJD.
4. *Бурлов В. Г., Грачев М. И.* Аналитическо-динамическая модель управленческого решения в социально-экономических системах на примере руководителя учебного заведения высшего образования // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2019. Т. 13. № 10. С. 27-34. DOI 10.212072-8735-2018-10314. EDN SNJZQR.
5. *Бурлов В. Г., Грачев М. И.* Оценивание эффективности принятия управленческих решений в социально-экономических системах на примере учебного заведения высшего образования // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Т. 14. № 2. С. 32-38. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-2-32-38. EDN YKNJZI.
6. Реестр ведущих научных и научно-педагогических школ Санкт-Петербурга // Вузы и научные организации, в которых функционируют ведущие научные и научно-педагогические школы Санкт-Петербурга: [Электронный ресурс]. СПб., 2011 - 2020. URL: <http://knvsh.gov.spb.ru/media/files/contests/closed/85/Spisok%201.pdf> (Дата обращения 22.10.2022).
7. Реестр ведущих научных и научно-педагогических школ Санкт-Петербурга // Вузы и научные организации, в которых функционируют ведущие научные и научно-педагогические школы Санкт-Петербурга: [Электронный ресурс]. СПб., 2011 - 2020. URL: <http://knvsh.gov.spb.ru/media/files/contests/closed/85/Spisok%202.pdf> (Дата обращения 22.10.2022).
8. *Бурлов В. Г., Грачев М. И.* Модель управленческого решения как перспективное направление в обеспечении информационной безопасности // Информационная безопасность: вчера, сегодня, завтра: Сборник статей по материалам III Международной научно-практической конференции, Москва, 23 апреля 2020. М.: Российский государственный гуманитарный университет, 2020. С. 153-157.
9. *Грачев М. И., Бурлов В. Г.* Модель решения информационной безопасности WEB-сайта образовательной организации // Информационная безопасность: вчера, сегодня, завтра: Сборник статей по

материалам IV Международной научно-практической конференции, Москва, 22 апреля 2021 / Под редакцией В.В. Арутюнова. М.: Российский государственный гуманитарный университет, 2021. С. 98-103.

10. *Burlov V. G., Grachev M. I., Shlygina N. S.* Adoption of management decisions in the context of the uncertainty of the emergence of threats // Proceedings of 2017 XX IEEE international conference on soft computing and measurements (SCM), Saint-Petersburg, 24-26 мая 2017. Saint-Petersburg: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017. P. 107-108. DOI 10.1109/SCM.2017.7970510. EDN XNMVJA.

11. *Бурлов В. Г., Грачев М. И., Васильев М. Н., Капицын С. Ю.* Модель управления в социальных и экономических системах с учетом воздействия на информационные процессы в обществе // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Т. 14. № 5. С. 46-55. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-5-46-55. EDN IBIABC.

12. *Грачев М. И., Бурлов В. Г.* Математическое моделирование в социальных и экономических системах // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Т. 15. № 5. С. 38-45. DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-5-38-45. EDN CRNULK.

11. *Робсон М., Уллах Ф.Р.* Практическое руководство по реинжинирингу бизнес-процессов / Пер. с англ. Под ред. Н. Д. Эриашвили М.: Аудит, ЮНИТИ, 1997. 224 с.

12. *Хаммер М., Дж. Чампи.* Реинжиниринг корпорации: Манифест революции в бизнесе / Пер. с англ. СПб.: Издательство С.-Петербургского университета, 1997. 332 с.

13. *Качалов В. А.* Системы менеджмента качества. ISO 9001:2008 в комментариях и задачах: монография: в 2 т. М.: ИздАТ, 2011. 22 с.

14. *Качалов В. А.* Что же должно содержаться в процедурах системы менеджмента качества // Методы менеджмента качества. 2011. № 5. С. 26-30.

15. *Корольков В. Ф., Брагин В. В.* Процессы управления организацией. Ярославль: изд-во Яргтелекома, 2001. 420 с.

16. *Садовничий В. А., Акаев А. А., Коротаев А. В., Малков С. Ю.* Моделирование и прогнозирование мировой динамики; Российская академия наук, Институт социально-политических исследований, Научный совет по программе фундаментальных исследований Президиума РАН "Экономика и социология знания". М.: Институт социально-политических исследований РАН, 2012. 356 с. (Экономика и социология знания). ISBN 9785755604567.

17. *Гуц А. К., Коробицын В. В., Лантев А. А.* и др. Математические модели социальных систем. Омск: Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, 2000. 256 с.

18. *Лантев А. А.* Математическое моделирование социальных процессов // Математические структуры и моделирование. 1999. № 3. С. 109-124.

19. *Колмогоров А. Н.* Теория вероятностей и математическая статистика; Отв. ред. Ю. В. Прохоров; АН СССР, Отд-ние математики. М.: Наука, 1986. 534 с.

20. *Ларичев О. И.* Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных странах: учебник для студентов высших учебных заведений. Изд. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Логос, 2008. (Новая университетская библиотека). ISBN 9785987041325.

21. *Колесников А. В., Малинецкий Г. Г., Сиренко С. Н.* Цифровая реальность: Выбор будущего // Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности. 2021. № 1(4). С. 6-30. DOI 10.20948/future-2021-1.

22. *Орлов А. И.* Нечисловая статистика. М.: МЗ-Пресс, 2004. 513 с. (Статистические методы).

23. *Самарский А. А., Михайлов А. П.* Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 320 с. ISBN 592210120X.

24. *Форрестер Д. В.* Мировая динамика / Перевод с англ. А.Н. Ворошук, С.А. Пегова; Под ред. Д.М. Гвишиани, Н.Н. Моисеева; с предисл. Д.М. Гвишиани и послесл. Н.Н. Моисеева. М.: Наука, 1978. 167 с.



25. Гуд Г.Х., Макол Р. Э. Системотехника: Введение в проектирование больших систем; Пер. с англ. К. Н. Трофимова и др.; Под ред. Г. Н. Поварова. М.: Сов. радио, 1962. 383 с.

26. Резников Б.А. Системный анализ и методы системотехники. Часть 1: Методология системных исследований. Моделирование сложных систем. М.: МО СССР, 1990. 522 с.

27. Калинин В.Н., Резников Б.А. Теория систем и управления (структурно-математический подход). Л.: ВИКИ им. А.Ф. Можайского, 1978. 417 с.

28. Ростовцев Ю.Г. Задачи знакового моделирования. Ч. 1. Методологические аспекты знакового моделирования. СПб.: ВИКА им. А.Ф. Можайского, 1996.

29. Андерсен Б., Бьёрн Андерсен. Бизнес-процессы. Инструменты совершенствования; пер. с англ. С. В. Ариничева. 2-е изд. М.: Стандарты и качество, 2004. 271 с. (Практический менеджмент). ISBN 5949380231.

30. Деминг Э. У. Выход из кризиса. Новая парадигма управления людьми, системами и процессами. М.: Альпина Паблшер, 2014. 416 с.

31. Ефимов В. В. Описание и улучшение бизнес-процессов: учебное пособие; Федеральное агентство по образованию, Ульяновский гос. технический ун-т. Ульяновск: УлГТУ, 2005. 84 с.

32. Репин В. В., Елиферов В. Г. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. 4-е изд. М.: Стандарты и качество, 2006. 404 с. (Практический менеджмент). ISBN 5949380401.

33. Бурлов В. Г., Грачев М. И., Васильев М. Н., Капицын С. Ю. Модель управления в социальных и экономических системах с учетом воздействия на информационные процессы в обществе // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Т. 14. № 5. С. 46-55. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-5-46-55. EDN IBIABC.

34. Грачев М. И., Бурлов В. Г. Математическое моделирование в социальных и экономических системах // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Т. 15. № 5. С. 38-45. DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-5-38-45. EDN CRNULK.

MATHEMATICAL MODELING OF ORGANIZATIONAL SYSTEMS

MIKHAIL I. GRACHEV

St. Petersburg, Russia, mig2500@mail.ru

VYACHESLAV G. BURLOV

St. Petersburg, Russia, burlovvg@mail.ru

NATALYA G. GRACHEVA

St. Petersburg, Russia, kng25@list.ru

ABSTRACT

Introduction. Modern rates of development of information systems and web-technologies are increasingly being introduced into the life of all mankind, including organizational systems, which requires the improvement of management and decision-making processes. In modern sources of literature, the consideration of management processes is given on the basis of analysis, but from the side of the synthesis of the mathematical model of management decisions, they are not considered, which allows us to consider the ongoing research as an urgent task. For the head of the organizational system, the solution of the problem of management is the most important task based on the complex interaction of all departments of the managed system. **Practical relevance:** When a destructive impact occurs in a managed system, a decision-maker should have a management decision model that allows timely management decisions to counter emerging threats. Counteraction is carried out at the

KEYWORDS: *mathematical modeling, educational organization, control problem solving, organizational systems, decision maker, Kolmogorov differential equations.*

expense of the resources available to the decision-maker. The mathematical model of a management decision makes it possible to respond in a timely manner to emerging threats in the system and make appropriate management decisions with a given level of the efficiency indicator of the decision being made. The application of the Kolmogorov differential equations makes it possible to link the finding of a mathematical modeling system with various states of the controlled system. **Discussion:** The resulting indicator of the effectiveness of the decision makes it possible to link three states of the system when considering the target process, namely, the process of threat formation, the process of threat identification and the process of threat neutralization. By setting the required indicator of the effectiveness of a management decision, it allows the manager to respond in a timely manner to the destructive impact, to use the available resources to ensure the achievement of the management goal.

REFERENCES

1. Interactive map of cyber threats. Electronic resource <https://cybermap.kaspersky.com/ru>. Accessed 22.10.2022.
2. V. Burlov (2020). Management model in digital ecosystems. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Kaliningrad, 05-10 October 2020. Kaliningrad. P. 012010. DOI 10.1088/1755-1315/689/1/012010.
3. A.V. Andreev, V. G. Burlov, M. I. Grachev (2019). Information technologies and synthesis of the management process model in the enterprise. *2019 International Sci-ence and Technology Conference "EastConf"*, EastConf 2019, Vladivostok, 01-02 March 2019.

4. V. G. Burlov, M. I. Grachev (2019). Analytical-dynamic model of managerial decision in socio-economic systems on the example of the head of an educational institution of higher education. *T-Comm*. Vol. 13. No. 10, pp. 27-34. DOI 10.24411/2072-8735-2018-10314.
5. V. G. Burlov, M. I. Grachev (2020). Evaluating the effectiveness of managerial decision-making in socio-economic systems on the example of an educational institution of higher education. *T-Comm*. Vol. 14. No. 2, pp. 32-38. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-2-32-38.
6. The register of the leading scientific and scientific-pedagogical schools of St. Petersburg. *Universities and scientific organizations in*

which the leading scientific and scientific-pedagogical schools of St. Petersburg function. SPb. 2011 - 2020. URL:<http://knvsh.gov.spb.ru/media/files/contests/closed/85/Spisok%201.pdf> (Date of issue 22.10.2022).

7. The register of the leading scientific and scientific-pedagogical schools of St. Petersburg. *Universities and scientific organizations in which the leading scientific and scientific-pedagogical schools of St. Petersburg function*. St. Petersburg, 2011 - 2020. URL:<http://knvsh.gov.spb.ru/media/files/contests/closed/85/Spisok%202.pdf> (Date of issue 22.10.2022).

8. V. G. Burlov, M. I. Grachev (2020). Management decision model as a promising direction in ensuring information security. *Information security: yesterday, today, tomorrow: Collection of articles based on the materials of the III International Scientific and Practical Conference*, Moscow, April 23, 2020. Moscow: Russian State University for the Humanities, pp. 153-157.

9. M. I. Grachev, V. G. Burlov (2021). Model of information security solutions of the educational organization's website. *Information security: yesterday, today, tomorrow: Collection of articles based on the materials of the IV International Scientific and Practical Conference*, Moscow, April 22, 2021. Edited by V.V. Arutyunov. Moscow: Russian State University for the Humanities, pp. 98-103.

10. V. G. Burlov, M. I. Grachev, N. S. Shlygina (2017). Adoption of management decisions in the context of the uncertainty of the emergence of threats. *Proceedings of 2017 XX IEEE international conference on soft computing and measurements (SCM), Saint Petersburg, May 24-26, 2017*. Saint-Petersburg: Institute of Electrical and Electronics Engineers, pp. 107-108. DOI 10.1109/SCM.2017.7970510.

11. V. G. Burlov, M. I. Grachev, M. N. Vasiliev, S. Yu. Kapitsyn (2020). Management model in social and economic systems taking into account the impact on information processes in society. *T-Comm*. Vol. 14. No. 5, pp. 46-55. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-5-46-55.

12. M. I. Grachev, V. G. Burlov (2021). Mathematical modeling in social and economic systems. *T-Comm*. Vol. 15. No. 5, pp. 38-45. DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-5-38-45.

11. M. Robson, F.R. Ullah (1997). Practical guide to business process reengineering. Edited by N. D. Eriashvili. Moscow: Audit, UNITY. 224 p.

12. M. Hammer, J. Champi. (1997). Reengineering corporations: Manifesto of the revolution in business. St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg University. 332 p.

13. V. A. Kachalov, V. A. Kachalov (2011). Quality management systems. ISO 9001:2008 in comments and tasks. Moscow: IzdAT. 22 p.

14. V. A. Kachalov (2011). What should be contained in the procedures of the quality management system. *Methods of quality management*. -No. 5, pp. 26-30.

15. B. F. Korolkov, V. V. Bragin (2001). Processes of organization management. Yaroslavl: publishing house of Yartelecom. 420 p.

16. V. A. Sadovnichy, A. A. Akaev, A.V. Korotaev, S. Yu. Malkov (2012). Modeling and forecasting of world dynamics; Russian Academy of Sciences, Institute of Socio-Political Research, Scientific Council on the program of Fundamental Research of the Presidium of the Russian Academy of Sciences "Economics and Sociology of Knowledge". Moscow: Institute of Socio-Political Studies of the Russian Academy of Sciences. 356 p. (Economics and Sociology of Knowledge). ISBN 9785755604567.

17. A. K. Gut, V. V. Korobitsyn, A. A. Laptev et al. (2000). Mathematical models of social systems. Omsk: Omsk State University named after F.M. Dostoevsky. 256 p.

18. A. A. Laptev (1999). Mathematical modeling of social processes. *Mathematical structures and modeling*. No. 3, pp. 109-124.

19. A. N. Kolmogorov (1986). Probability theory and Mathematical Statistics; Ed. Yu. V. Prokhorov; USSR Academy of Sciences, Department of Mathematics. Moscow: Nauka. 534 p.

20. O. I. Larichev; O. I. Larichev (2008). Theory and methods of decision-making, as well as a Chronicle of events in Magical countries: a textbook for students of higher educational institutions. Moscow: Logos, (New University Library). ISBN 9785987041325.

21. A.V. Kolesnikov, G. G. Malinetsky, S. N. Sirenko (2021). Digital Reality: Choosing the Future. *Designing the future. Problems of digital reality*. No. 1(4), pp. 6-30. DOI 10.20948/future-2021-1.

22. A. I. Orlov (2004). Non-numerical statistics. Moscow: M3-Press. 513 p. (Statistical methods).

23. A. A. Samarsky, A. P. Mikhailov (2005). Mathematical modeling: Ideas. Methods. Examples. Moscow: FIZMATLIT. 320 p. ISBN 592210120X.

24. D. V. Forrester (1978). World Dynamics / Translated from the English by A.N. Voroshchuk, S.A. Pegova; Edited by D.M. Gvishiani, N.N. Moiseev. Moscow: Nauka. 167 p.

25. G. H. Goode, R. E. Makol (1962). System Engineering: An introduction to the design of large systems ; Translated from the English by K. N. Trofimova et al.; Edited by G. N. Povarov. Moscow: Soviet Radio. 383 p.

26. B.A. Reznikov (1990). System analysis and methods of system engineering. Part 1: Methodology of system research. Modeling of complex systems. Moscow: Ministry of Defense of the USSR. 522 p.

27. V.N. Kalinin, B.A. Reznikov (1978). Theory of systems and control (structural and mathematical approach). L.: A.F. Mozhaisky WIKI. 417 p.

28. Yu.G. Rostovtsev (1996). Problems of sign modeling. Part 1. Methodological aspects of sign modeling. St. Petersburg: A.F. Mozhaisko VIKI.

29. B. Andersen, Bjorn Andersen (2004). Business processes. Tools of improvement; trans. from the English S. V. Arinicheva. 2nd ed. Moscow: Standards and Quality. 271 p. (Practical management). ISBN 5949380231.

30. E. U. Deming (2014). The way out of the crisis. A new paradigm of managing people, systems and processes. Moscow: Alpina Publisher. 416 p.

31. V. V. Efimov (2005). Description and improvement of business processes: textbook; Federal Agency for Education, Ulyanovsk State Technical University - t. Ulyanovsk: UISTU. 84 p.

32. V. V. Repin, V. G. Eliferov; V. V. Repin, V. G. Eliferov (2006). Process approach to management. Modeling of business processes. 4th ed. Moscow: Standards and Quality. 404 p. (Practical management). ISBN 5949380401.

33. V. G. Burlov, M. I. Grachev, M. N. Vasiliev, S. Yu. Kapitsyn (2020). Management model in social and economic systems taking into account the impact on information processes in society. *T-Comm*. Vol. 14. No. 5, pp. 46-55. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-5-46-55.

34. M. I. Grachev, V. G. Burlov (2021). Mathematical modeling in social and economic systems. *T-Comm*. Vol. 15. No. 5, pp. 38-45. DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-5-38-45.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Mikhail I. Grachev, St. Petersburg University of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Senior Engineer of the Information Center, St. Petersburg, Russia

Vyacheslav G. Burlov, Admiral S.O. Makarov", Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Professor of the Department of Integrated Information Security, St. Petersburg, Russia

Natalya G. Gracheva, St. Petersburg University of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Head of the Office of the Department of the Russian Language, St. Petersburg, Russia

For citation: Grachev M.I., Burlov V.G., Gracheva N.G. Mathematical modeling of organizational systems. H&ES Reserch. 2022. Vol. 14. No. 5. P. 14-20. doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-5-14-20 (In Rus)



doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-5-21-28

ОДИН ИЗ ЭФФЕКТИВНЫХ ПОДХОДОВ К ЗАЩИТЕ ИНФОРМАЦИИ В РАДИОЛИНИЯХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ С ГРУППАМИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА ОСНОВЕ БЛОКЧЕЙН ТЕХНОЛОГИИ

ШВИДЧЕНКО

Светлана Александровна¹

ИВАНОВ

Станислав Валерьевич²

ХОРОЛЬСКИЙ

Евгений Михайлович³

САВЕЛЬЕВ

Игорь Васильевич⁴

АННОТАЦИЯ

Введение. Современное развитие техники невозможно без компьютерных технологий и микропроцессорной техники, которые напрямую оказывают влияние на протекание различных технологических процессов в области применения робототехники. Как совершенствование компьютерной техники и компьютерных технологий, так и развитие искусственного интеллекта все более внедряется в технический уклад и успешно заменяет человеческий ресурс. **Цели и задачи исследования:** наряду с глобально возрастающими требованиями по автономности действий, предъявляемыми к робототехническим комплексам с группами беспилотных летательных аппаратов (далее – РТК с БЛА) существует необходимость в построении нового программно-алгоритмического и математического обеспечения с целью рационального использования имеющихся ресурсов при организации взаимодействия группы БЛА в условиях деструктивных воздействий со стороны вероятного злоумышленника. Ввиду того, что его действия практически невозможно предугадать и определить точную модель его функционирования, целесообразным является разработка такой модели, которая позволила бы учитывать все возможные действия злоумышленника, направленные на срыв (сбой) работы комплекса и достичь максимального уровня его информационной безопасности. **Результаты исследования:** такую модель можно построить на широко известном математическом и программно-алгоритмическом аппарате – блокчейн технологии. Современная реализация аппарата блокчейн технологии может эффективно использоваться при реализации работы РТК и учитывать ситуационные модели воздействия внешней среды на процессы передачи и обработки, циркулирующей в канале управления РТК информации, а также обеспечить необходимый уровень информационной безопасности системы.

Сведения об авторах:

¹ Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО "Московский технический университет связи и информатики", Ростов-на-Дону, Россия

² Краснодарское высшее военное училище, Краснодар, Россия

³ Ростовский филиал "Московский государственный технический университет Гражданской авиации", Ростов-на-Дону, Россия,

⁴ Краснодарское высшее военное училище, Краснодар, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: защита информации, робототехнические комплексы, криптостойкость, алгоритмы SHA, хеширование, цифровая подпись, блокчейн.

Для цитирования: Швидченко С.А., Иванов С.В., Хорольский Е.М., Савельев И.В. Один из эффективных подходов к защите информации в радиолиниях робототехнических комплексов с группами беспилотных летательных аппаратов на основе блокчейн технологии // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2022. Т. 14. № 5. С. 21-28. doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-5-21-28

Введение

Развитие сегмента беспилотной авиации, основанное на передовых технических решениях в области навигации, связи и телекоммуникации, предъявляет высокие требования к обеспечению уровня защищенности РТК, которые напрямую связаны с повышением интеллектуальных возможностей злоумышленника и его постоянным внедрением в информационную сеть [12-14]. Независимо от того, имеет ли оператор возможность осуществлять контроль над РТК или же РТК действует в автономном режиме, необходимо обеспечить высокий уровень защищенности, циркулирующей в канале управления, информации [15-17]. С целью получения несанкционированного доступа (далее – НСД) сети передачи данных РТК, злоумышленник применяет современные эффективные средства и методы, которые успешно реализует. В связи с этим возникает необходимость в построении новых интеллектуальных способов защиты системы передачи информации в РТК от возможных действий злоумышленника. Одним из возможных решений сформулированной задачи является применение блокчейн технологии для повышения криптостойкости алгоритмов передачи данных в канале управления РТК [18, 20-23].

Целью проводимого исследования ставится повышение криптостойкости алгоритмов передачи информации и времени, затрачиваемого злоумышленником на получение доступа к РТК.

Постановка задачи

Имеется группа беспилотных летательных аппаратов, предназначенная для выполнения поставленной задачи с пункта управления. Схема предлагаемой системы передачи информации представлена на рисунке 1.

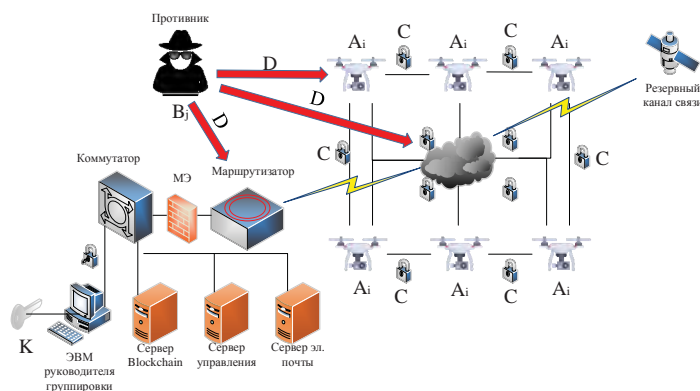


Рис. 1. Графическая интерпретация процесса передачи информации с использованием блокчейн технологии в канале управления РТК

Пусть модель процесса передачи информации между элементами группы БЛА представлена в виде четырехместного кортежа:

$$\omega = \langle A_i, B_j, C, D \rangle, \quad (1)$$

где A_i – множество беспилотных летательных аппаратов;
 B_j – противник, целью которого является получение

доступа к РТК;

C – алгоритм, применяемый для передачи информации в канале управления РТК;

D – средства противника, применяемые для получения C .

На рисунке 1 представлена графическая интерпретация процесса передачи информации с использованием блокчейн технологии в канале управления РТК с БЛА, который имеет i беспилотных летательных аппаратов, обмен информацией внутри которого происходит по алгоритму C . С целью получения доступа к робототехническому комплексу на рисунке представлен злоумышленник B_j , применяющий средства D для получения алгоритма C .

Требуется найти.

На базе известных методов (отказ в обслуживании, war-атаки, грубого перебора) разработать такой алгоритм C , при котором злоумышленник, имея любое средство D , не сможет получить доступ к A_i -му элементу РТК.

Решение задачи

Под «блокчейн технологией» (далее – блокчейн) в работе понимается децентрализованная база данных, в которой все записи собираются в «блоки» и связываются между собой криптографическими средствами [19, 24]. Помимо самих записей и «идентификатора блока», в состав «блока» включается хеш-сумма текущего и предыдущего «блоков», которые являются результатом вычисления криптографических хеш-функций. Хеш-функции в блокчейне, в сочетании с его распределенной архитектурой, обеспечивают неизменность и необратимость всей цепочки «блоков». При анализе блокчейна с точки зрения безопасности стоит оценивать её не как самостоятельную технологию, а как инфраструктурный слой для конкретного сценария – базу данных для кооперативной информационной системы. Структура классической модели блокчейна, реализующей блоки, транзакции и скрипты, представлена на рисунке 2.

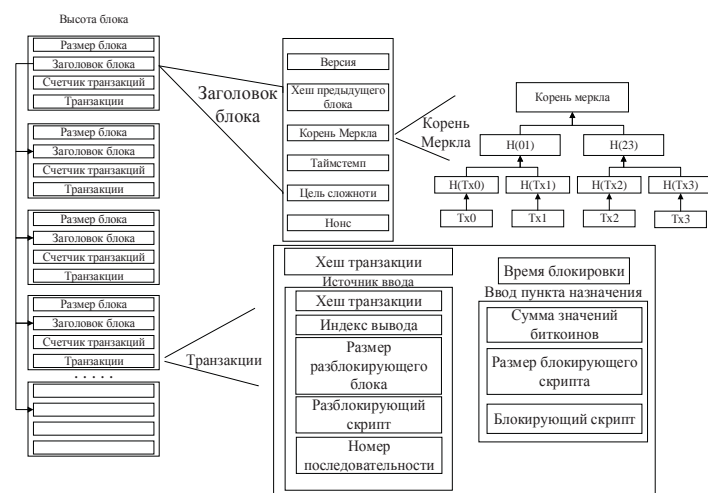


Рис. 2. Визуализация блокчейна, реализующих его блоков, транзакций и скриптов

Суть процедуры функционирования модели визуализации блокчейна в классическом представлении заключается в

механизмах: «доказательство работы» Proof of Work (далее – PoW), цифровой подписи и механизме хеширования.

Механизм доказательства работы (PoW) применяется для доказательства того, что на построение корректной работы блока затрачивается достаточное количество вычислительных ресурсов. Алгоритм PoW основывается на идее, заключающейся в том, что каждый раз для создания нового блока выбирается случайный узел. В такой модели узлы «соревнуются» друг с другом для выбора их в пропорциональном соотношении относительно их вычислительной мощности.

Графически механизм PoW может быть представлен следующим образом (рис. 3).

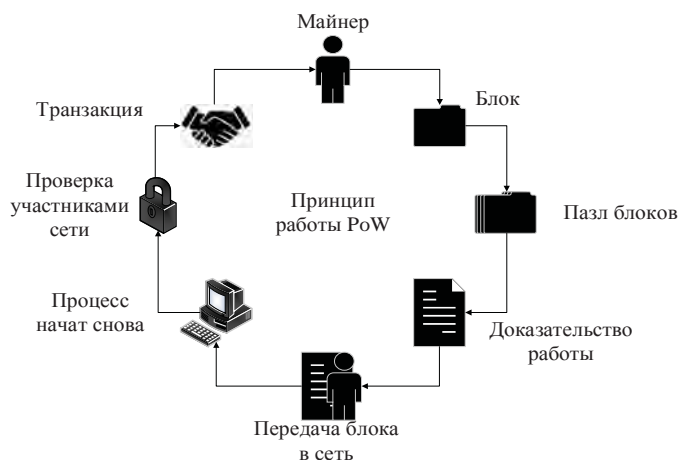


Рис. 3. Визуализация механизма Proof of Work

Единственным способом, позволяющим определить значение «нонса» является метод «грубого перебора» [6], активно используемого майнерами. Майнер – лицо, деятельность которого направлена на создание новых структур (блоков) в блокчейне. Как только майнер достигает определенного значения хеша, блок мгновенно транслируется, принимается другими майнерами и затем подтверждается ими. Только в случае правильного перебора, с отсутствием деформации структуры алгоритма, майнеры смогут достичь необходимого значения, после чего подтвердить блок и занести его в базу данных, как единственно верный.

Задача «PoW» заключается в доказательстве проведенной операции, когда все операции в блокчейне проходят всю цепочку алгоритма. После её прохождения производится внесение данных в реестр блоков. Данный механизм применяется для доказательства процесса добавления блока в цепь, однако саму задачу определения возможности добавления его в цепь решает цифровая подпись, которая гарантирует, что только отправитель может поставить подпись с помощью своего закрытого ключа. С целью недопущения возможности ввода данных злоумышленником, цифровая подпись предусматривает процедуру, исключающую возможность дублирования созданного сообщения, подписанного настоящим отправителем.

В биткойне реализован алгоритм ECDSA (Elliptic Curve Digital Signature Algorithm). ECDSA – это криптографическая схема для создания цифровых подписей с помощью открытого и закрытого ключей. За счет цифровых подписей

становится невозможным передать информацию, поступающую от оператора без его согласования. Без закрытого ключа оператора операция не получит правильную подпись и не будет принята сетью, участвующей в блокчейне.

При этом невозможность подделки подписи (подбора закрытого ключа) обеспечивается сложностью взлома алгоритма асинхронного шифрования, который положен в основу выбранного способа подписи.

Для генерации открытого ключа необходимо сгенерировать секретный ключ и осуществить операцию его умножения на числовое значение точки генерации, после чего получается открытый ключ. Графическая иллюстрация применения ECDSA алгоритма представлена на рисунке 4.

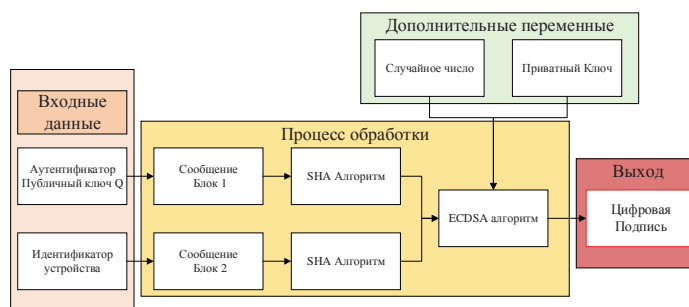


Рис. 4. Применение ECDSA алгоритма

На рисунке 4 представлена алгоритмическая процедура получения цифровой подписи. Здесь на входе в качестве исходных данных представлены аутентификатор и идентификатор устройств. После прохождения процедуры аутентификации (идентификации) отправляемые данные подписываются цифровой подписью и отправляются в хешированном виде, что позволяет повысить безопасность передаваемых данных.

Хеширование (рис. 5), в свою очередь, представляет собой процесс преобразования массива входных данных произвольной длины в битовую строку фиксированной длины.

В работе модель информационного обмена между элементами РТК с БЛА представляет собой классическую сетевую топологию «звезда» [8]. В условиях передачи конфиденциальной информации, циркулирующей в канале управления РТК с БЛА, важным условием является то, что каждый раз перед отправкой блока информации в «облачное» хранилище необходимо осуществлять хеширование всех собранных (отправляемых) данных.

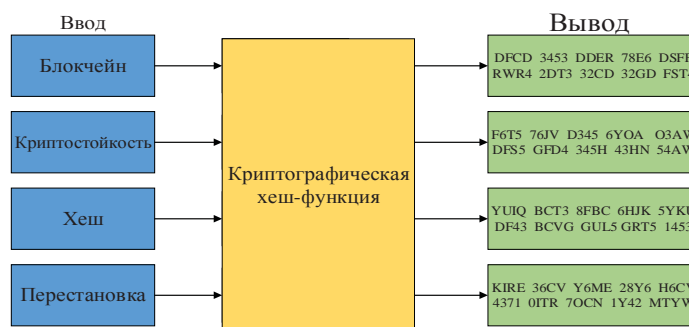


Рис. 5. Пример хеширования

Хеш, добавляемый в блок, составляется на основе записанных при реализации процедуры хеширования данных. При создании связанной последовательности блоков, необходимо учесть факт наличия хеша предыдущего блока, расположенного во входной ячейке каждого из блоков, хранящихся в «облачном» хранилище РТК с БЛА.

Ниже представлены самые популярные алгоритмы безопасного хеширования (Secure Hash Algorithms, SHA).

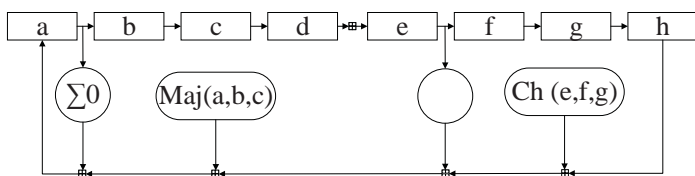


Рис. 6. Один цикл функции сжатия SHA-256

В алгоритме SHA-256 длина входного сообщения не превышает значение 2^{64} бит. Каждое входное сообщение имеет длину 256 бит. Функция сжатия обрабатывает 512-битный блок сообщения и 256-битное промежуточное значение хеша. Функционирование алгоритма SHA-256 строится на использовании двух основных функций, осуществляющих сжатие и размещение в определенной последовательности сообщений, циркулирующих в канале управления РТК с БЛА.

Методика применения алгоритма SHA-256 в РТК с БЛА может быть реализована на основе следующих двух основных этапов.

Этап 1. Подготовка сообщения для обработки с последней передачей между элементами РТК.

Шаг 1.1. На основе имеющегося сообщения, передаваемого между двумя участниками сетевого взаимодействия в составе РТК, осуществляется дополнительное введение нового (добавочного) сообщения, состоящего из различных случайных символов (знаков), с целью получения длины блока обработки информации в 512 бит.

Шаг 1.2. Дополненное сообщение разбирается на отдельные блоки, размер каждого из которых равен 512 бит.

Шаг 1.3. Устанавливается начальное значение хеш-функции, состоящее из восьми 32-х битовых слов, полученных путем взятия первых 32 бит дробных частей квадратных корней первых восьми простых чисел.

Этап 2. Расчет хеш-суммы передаваемого сообщения внутри элементов сети РТК с БЛА.

Шаг 2.1. Каждый блок обрабатывается поочередно, т.е. блок *a*, затем блок *b*, *c*, ..., *h*, как показано на рисунке 6. Полный расчет хеш-суммы производится в 64 цикла. В каждом цикле используются незначительно отличающиеся от других циклов константы, результат расчета каждого из которых является уникальным.

Шаг 2.2. Алгоритм создает уникальную последовательность сообщения для каждого цикла сжатия.

Шаг 2.3. Задаются восемь вспомогательных переменных, принимающих участие в обработке передаваемой информации в канале управления РТК с БЛА.

Шаг 2.4. Рассчитывается промежуточная хеш-сумма, которая записывается в оперативную память и выгружается после окончания всего цикла обработки.

Шаг 2.5. Производится обработка сообщения, в результате которой получается итоговая хеш-сумма.

Для оценки вычислительной эффективности и физической реализуемости предложенных в работе алгоритмических процедур проводится сравнительный анализ алгоритмов, реализующих функции хеширования информации в канале управления РТК с БЛА на основе блокчейн.

В частности, на практике применяется множество различных алгоритмов хеширования (CRC16/32, MD2/4/5/6, ГОСТ 34.11). Наиболее подходящими при проведении исследований алгоритмами в работе приняты алгоритмы семейства SHA-2(256) и SHA-3. Структура SHA-3 сильно отличается от SHA-2, так как в основе алгоритма SHA-3 положены перестановки псевдослучайных последовательностей. SHA-3 использует иной подход, который построен на основе применения идеологии криптографической «губки». Эта идеология предусматривает наличие итеративной конструкции для создания функции с произвольной длиной на входе и произвольной длиной на выходе на основе преобразований перестановки (рис. 7).

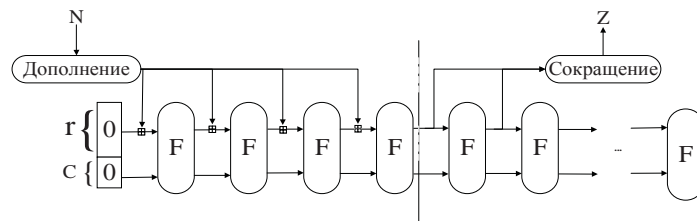


Рис. 7. Функция губки SHA-3

На рисунке 7 представлена модель криптографической «губки», описывающей процесс функционирования алгоритма SHA-3, принцип действия которого заключается в дополнительном введении символов в начало сообщения, а затем преобразовании в подмножество состояний перестановки. После этого преобразованные данные «выжимаются» из губки и полученный результат является искомым значением хеша для дальнейшего использования в РТК с БЛА.

Пример.

Пусть в РТК с БЛА загружаются следующие команды:

- команда `beer(N)` – запускает начало цикла выполнения задачи группировки на сканирование местности;
- команда `attacker17` – запускает процесс отключения от сети блокчейн;
- команда `attacker740` – запускает процесс самоликвидации в случае невозможности возвращения «на базу»;
- команда `92getback` – отправляет БЛА «на базу».

Приведенные команды преобразуются в хешированный вид (рис. 8).

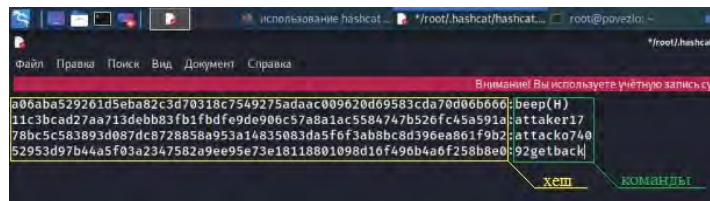


Рис. 8. Команды БЛА в хешированном виде

Команды, реализованные в операционной системе Kali Linux, преобразуются в хешированный вид по алгоритму хеширования SHA-256 и загружаются в сервер группы РТК с БЛА. Все команды на выполнение задач хранятся в «облачном» хранилище группировки и загружаются в каждый БЛА в виде хеша. Загруженные хешированные данные расхешируются в каждом БЛА отдельно. По достижении расхеширования команд последним БЛА из группировки, она отправляется на выполнение задачи. В случае необходимости изменения задачи, данные отправляются в «облачное» хранилище группировки РТК с БЛА в хешированном виде, после чего добавляются в блоки блокчейна и передаются на исполнение группировке, далее, по достижению расхеширования нового программного кода последним БЛА, вся группа приступает к исполнению.

В случае попытки получения доступа злоумышленником к одному из БЛА, об этом оповещается оператор на пункте управления. Злоумышленнику необходимо 4 секунды для расхеширования одной строчки кода, при условии, что ему известна библиотека, по которой происходило хеширование (в данном случае стандартная библиотека Kali Linux – `rockyou.txt`), а также алгоритм, по которому происходило хеширование (в данном случае алгоритм хеширования SHA-256). Проведенные операции с хешированными данными представлены на рисунке 9.

Рис. 9. Процесс расхеширования

Расхеширование одной команды занимало 4 секунды, всего в программе [11] 935 строк кода, т.е. расхеширование всего программного кода занимало $4 \cdot 935 = 3740$ секунд = 62 минут, при условии, что злоумышленник не тратит времени на подбор необходимого алгоритма хеширования и использует необходимую библиотеку (`rockyou.txt`). Данные расчеты проводились исходя из условия, что злоумышленнику известен алгоритм хеширования, у него имелись необходимые библиотеки для получения всех возможных алгоритмов, реализуемых на борту БЛА в реальном масштабе времени.

Захеширование производилось с использованием стандартной библиотеки Kali Linux `rockyou.txt`, объем которой позволяет производить подобные операции за минимальное время, но с низким уровнем безопасности хеша. На практике злоумышленнику потребуется в 10-100 раз больше времени для получения итогового алгоритма, реализующего все возможные ситуации, возникающие в полете.

Анализ алгоритмов, применяемых при обработке конфиденциальной информации в канале управления РТК с БЛА, показал, что применение технологии блокчейн уменьшает вероятность взлома за счет увеличения затрачиваемого времени злоумышленником на проведение преднамеренных деструктивных операций. При реализации существующих алгоритмов, не использующих блокчейн, время на организацию взлома составляет 14,5 мин. [8], при условии длины пароля в 28 бит, а на основе блокчейн технологии, время на осуществление преднамеренных деструктивных воздействий увеличивается до 62 мин., что в четыре раза превышает временные показатели при использовании классических алгоритмов обработки информации в канале управления РТК с БЛА.

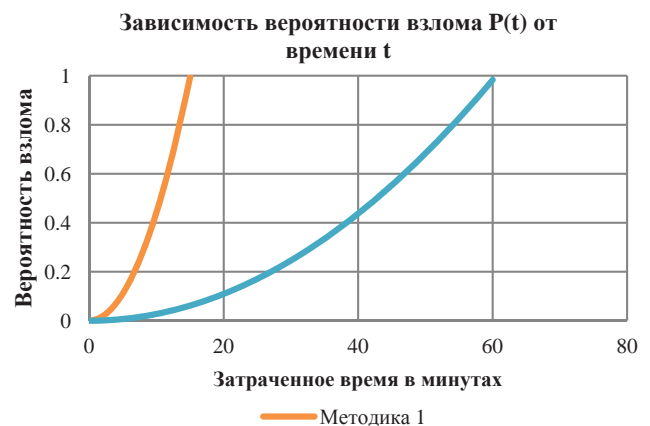


Рис. 10. Зависимость вероятности взлома от времени

Заключение

В связи с вышеуказанным расчетом времени, следует отметить, что противник не успеет получить доступ к БЛА до активации наших средств и систем реагирования в случае НСД к БЛА. В случае, если канал управления БЛА подавлен (перехвачен), будет предпринято следующее:

- удаление данных, хранящихся в операционной системе БЛА;

- отключение данного БЛА от сети блокчейн;
- ограничение доступа к остальным узлам связи блокчейн технологии;
- в системе опознавания свой-чужой данный БЛА оценивается как чужой.

Применение блокчейн технологии в РТК с БЛА может обеспечить повышение криптоустойчивости комплекса, сформировать защищенный распределенный реестр, повысить время, затрачиваемое злоумышленником на получение доступа к РТК с БЛА, а также ограничить доступ злоумышленника к группе БЛА.

Литература

1. *Имран Башир*. Блокчейн: архитектура, криптовалюты, инструменты разработки, смарт-контракты. М., 2019. С. 134-150.
2. ФИПС «Технологии блокчейн, современное состояние и ключевые инсайты». М., 2018. 4 с.
3. *Верба В. С., Татарский Б. Г.* Робототехнические комплексы на основе БЛА. М, 2016. 6 с.
4. *Колесников П. И., Бекетнова Ю. М., Крылов Г. О.* Технология блокчейн. Анализ атак, стратегии защиты 2019. 12 с.
5. *Войтов М.* Технология блокчейн с точки зрения информационной безопасности. 2020. № 1 С. 34-41.
6. The Brute Force algorithm, Катанийский университет – Оригинальная реализация алгоритмы на языке СИ, 2007. С. 12.
7. *Шнайер Брюс*. Cryptanalysis of SHA-1, a new cryptanalytic results – the first attack faster than brute-force against SHA-1, 2005, № 2. С. 6.
8. Электронный ресурс «Полный перебор». <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/201612>.
9. *Юрий Диогенес, Эрдаль Озкаяя*. Кибербезопасность: стратегии атак и обороны, 2019. 20 с.
10. *Шива Парасрам, Алекс Замм, Теди Хериянт*. Kali Linux – тестирование на проникновение и безопасность. М., 2021. С. 40-52.
11. *Иванов С. В., Боровик В. Д., Зайченко А. В.* Программа для решения задачи коммивояжера на основе синтеза генетического алгоритма и метода отжига. Свидетельство о государственной регистрации программы на ЭВМ. № 2021662410, 2022.
12. *Руденко Э. М., Семикина Е. В.* Маршрутизация беспилотных летательных аппаратов, трансцендентные целевые функции графа и генетический алгоритм // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2021. Т. 13. № 1. С. 6-17. DOI 10.36724/2409-5419-2021-13-1-6-17. EDN UKULSA.
13. *Смирнов А. А., Иванов А. А., Заика П. В., Куликов М. В.* Научно-технические предложения по информационно-аналитическому обеспечению комплексов радиомониторинга // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2021. Т. 13. № 2. С. 35-43. DOI 10.36724/2409-5419-2021-13-2-35-43. EDN IRZALJ.
14. *Лясковский В. Л., Бреслер И. Б., Алашеев М. А.* Методические и программные средства выбора решений по созданию (развитию) автоматизированных систем управления // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2021. Т. 13. № 3. С. 48-59. DOI 10.36724/2409-5419-2021-13-3-48-59. EDN VXMRII.
15. *Фабияновский И. Н., Николаев В. В., Саенко И. Б.* Применение блокчейн-технологии в критических распределенных информационных системах: концептуальные основы // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2021. Т. 13. № 4. С. 56-64. DOI 10.36724/2409-5419-2021-13-4-56-64. EDN EРVPQX.
16. *Евлевская Н. В.* Модуль принятия решений по управлению информационной безопасностью в информационно-коммуникационной сети // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 6. С. 60-67. DOI 10.36724/2409-5419-2020-12-6-60-67. EDN JBUNZK.
17. *Королев И. Д., Попов В. И., Коноваленко С. А.* Методика аналитической обработки распределенных во времени инцидентов информационной безопасности // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 5. С. 53-61. DOI 10.36724/2409-5419-2020-12-5-53-61. EDN UBBORU.
18. *Терентьев А. В., Арифуллин И. В., Егоров В. Д., Андреев А. Ю.* Математические модели принятия решений в интеллектуальных транспортных системах // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2021. № 1(64). С. 106-113. EDN RVWWIZ.
19. *Elagin V. S., Fedorovskikh V. I., Spirkina A. V.* Development and analysis of a blockchain system based on JavaScript // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Vol. 15. No 2. P. 40-45. DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-2-40-45. EDN LJKQLA.
20. *Калинцев А. С., Рубцов Е. А., Плясовских А. П.* Подтверждение данных АЗН-В в аэродромной зоне методом стробирования // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Т. 15. № 7. С. 39-49. DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-7-39-49. EDN RIWKIN.
21. *Тимошенко А. В., Милованов П. Г., Кочкаров А. А., Лядова Е. Ф.* Критерии многокритериального выбора конфигурации телекоммуникационной сети системы непрерывного мониторинга с подвижными средствами наблюдения // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Т. 15. № 8. С. 30-35. DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-8-30-35. EDN SIAARX.
22. *Petrov I. D., Shkodyrev V. P.* Processing echo signals reflected from unmanned aerial vehicles and received by radar // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Vol. 15. No. 9. P. 48-54. DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-9-48-54. EDN KEOJXW.
23. *Шацкий Н. В., Ходатаев Н. А.* Метод определения направления на цель цифровой антенной решеткой моноимпульсной радиолокационной станции // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Т. 15. № 12. С. 4-10. DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-12-4-10. EDN IAPJDM.
24. *Елагин В. С., Спиркина А. В., Владыко А. Г.* и др. Основные сетевые характеристики Blockchain трафика и подходы к моделированию // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Т. 14. № 4. С. 39-45. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-4-39-45. EDN QWRMTMK.



ONE OF THE EFFECTIVE APPROACHES TO PROTECTING INFORMATION IN THE RADIO LINKS OF ROBOTIC COMPLEXES WITH GROUPS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES BASED ON BLOCKCHAIN TECHNOLOGY

SVETLANA A. SHVIDCHENKO

Rostov-on-Don, Russia

STANISLAV V. IVANOV

Krasnodar, Russia

EVGENIY M. KHOROLSKY

Rostov-on-Don, Russia

IGOR V. SAVELIEV

Krasnodar, Russia

KEYWORDS: *information security, robotic systems, cryptographic security, SHA algorithms, hashing, digital signature, blockchain.*

ABSTRACT

Introduction. The modern development of technology is impossible without computer technology and microprocessor technology, which directly affect the flow of various technological processes in the field of robotics. Both the improvement of computer technology and computer technology, and the development of artificial intelligence are increasingly being introduced into the technical order and successfully replacing the human resource. **Practical relevance:** Along with the globally increasing requirements for autonomy of actions imposed on robotic complexes with groups of unmanned aerial vehicles (hereinafter – RTK with UAVs), there is a need to build a new software, algorithmic and mathematical support in order to rationally use the available resources in organizing interaction groups of UAVs under destructive influences from a probable malefactor.

Discussion: In view of the fact that its actions are almost impossible to predict and determine the exact model of its functioning, it is advisable to develop such a model that would allow taking into account all possible actions of an intruder aimed at disrupting (failing) the operation of the complex and achieving the maximum level of its information security. Such a model can be built on the well-known mathematical and software-algorithmic apparatus – blockchain technology. The modern implementation of the blockchain technology apparatus can be effectively used in the implementation of the work of the RTK and take into account situational models of the impact of the external environment on the processes of transmission and processing of information circulating in the RTK control channel, as well as provide the necessary level of information security of the system.

REFERENCES

1. Imran Bashir (2019). Blockchain: architecture, cryptocurrencies, development tools, smart contracts. Moscow, pp. 134-150.
2. FIPS (2018). Blockchain technologies, current state and key insights. Moscow. 4 p.
3. V. S. Verba, B. G. Tatarsky (2016). Robotic complexes based on UAVs. Moscow. 6 p.
4. P. I. Kolesnikov, Yu. M. Beketnova, G. O. Krylov (2019). Blockchain technology. Attack analysis, defense strategies. 12 p.
5. M. Voytov (2020). Blockchain technology from the point of view of information security. No. 1, pp. 34-41.
6. The Brute Force algorithm, University of Catania – The original implementation of algorithms in the SI language, 2007, p. 12.
7. Bruce Schneier (2005). Cryptanalysis of SHA-1, a new cryptanalytic results – the first attack faster than brute-force against SHA-1, no. 2. P. 6.
8. Full search. <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/201612>.
9. Yuri Diogenes, Erdal Ozkaya (2019). Cyber security: attack and defense strategies. 20 p.
10. Shiva Parasram, Alex Zamm, Tedi Heriyanto (2021). Kali Linux – penetration testing and security. Moscow, pp. 40-52.
11. S. V. Ivanov, V. D. Borovik, A. V. Zaichenko (2021). A program for solving the traveling salesman problem based on the synthesis of a genetic algorithm and the annealing method. Certificate of state registration of the computer program. No. 2021662410.
12. E. M. Rudenko, E. V. Semikina (2021). Routing of unmanned aerial vehicles, transcendental objective functions of a graph and a genetic algorithm. *H&ES Research*. Vol. 13. No. 1, pp. 6-17. DOI 10.36724/2409-5419-2021-13-1-6-17.
13. A. A. Smirnov, A. A. Ivanov, P. V. Zaika, M. V. Kulikov (2021). Scientific and technical proposals for information and analytical support of radio monitoring complexes *H&ES Research*. Vol. 13. No. 2, pp. 35-43. DOI 10.36724/2409-5419-2021-13-2-35-43.
14. V. L. Lyaskovskii, I. B. Bresler, M. A. Alashev (2021). Methodological and software tools for choosing solutions for the creation (development) of automated control systems. *H&ES Research*. Vol. 13. No. 3, pp. 48-59. DOI 10.36724/2409-5419-2021-13-3-48-59.
15. I. N. Fabiyanovsky, V. V. Nikolaev, I. B. Saenko (2021). The use of blockchain technology in critical distributed information systems: conceptual framework. *H&ES Research*. Vol. 13. No. 4, pp. 56-64. DOI 10.36724/2409-5419-2021-13-4-56-64.
16. N.V. Evglevskaya (2020). Decision-making module for managing information security in the information and communication network. *H&ES Research*. Vol. 12. No. 6, pp. 60-67. DOI 10.36724/2409-5419-2020-12-6-60-67.
17. I. D. Korolev, V. I. Popov, and S. A. Konovalenko (2020). Method of analytical processing of time-distributed information security incidents. *H&ES Research*. 2020. Vol. 12. No. 5, pp. 53-61. DOI 10.36724/2409-5419-2020-12-5-53-61.
18. A. V. Terentiev, I. V. Arifullin, V. D. Egorov, A. Yu. Andreev (2021). Mathematical models of decision making in intelligent trans-

port systems. *Bulletin of the Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI)*. No. 1(64), pp. 106-113.

19. V. S. Elagin, V. I. Fedorovskikh, A. V. Spirkina (2021). Development and analysis of a blockchain system based on JavaScript. *T-Comm*. 2021. Vol. 15. No. 2, pp. 40-45. DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-2-40-45.

20. A. S. Kalintsev, E. A. Rubtsov, A. P. Plyasovskikh (2021). Confirmation of ADS-B data in the airfield zone by the strobing method. *T-Comm*. Vol. 15. No. 7, pp. 39-49. DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-7-39-49.

21. A. V. Timoshenko, P. G. Milovanov, A. A. Kochkarov, E. F. Lyadova (2021). Criteria for multi-criteria choice of the configuration of the telecommunication network of a continuous monitoring

system with mobile surveillance devices. *T-Comm*. Vol. 15. No. 8, pp. 30-35. DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-8-30-35.

22. I. D. Petrov, V. P. Shkodyrev (2021). Processing echo signals reflected from unmanned aerial vehicles and received by radar. *T-Comm*. Vol. 15. No. 9, pp. 48-54. DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-9-48-54.

23. N. V. Shatsky, N. A. Khodataev (2021). Method for determining the direction to the target by a digital antenna array of a monopulse radar station. *T-Comm*. Vol. 15. No. 12, pp. 4-10. DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-12-4-10.

24. V. S. Elagin, A. V. Spirkina, A. G. Vladyko et al. (2020). Basic network characteristics of Blockchain traffic and approaches to modeling. *T-Comm*. Vol. 14. No. 4, pp. 39-45. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-4-39-45.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Shvidchenko S.A., North Caucasus branch of Moscow Technical University of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

Ivanov S. V., Krasnodar Higher Military School, Krasnodar, Russia

Khorolsky E. M., Moscow State Technical University of Civil Aviation, Rostov-on-Don, Russia

Saveliev I. V., Krasnodar Higher Military School, Krasnodar, Russia

For citation: Shvidchenko S.A., Ivanov S. V., Khorolsky E. M., Saveliev I. V. One of the effective approaches to protecting information in the radio links of robotic complexes with groups of un-manned aerial vehicles based on blockchain technology. *H&ES Reserch*. 2022. Vol. 14. No 5. P. 21-28. doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-5-21-28 (In Rus)



doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-5-29-37

ВЫБОР СПОСОБА НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ПЕРЕХВАТА ВИДЕОСИГНАЛОВ ПЭМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДЫ MULTISIM

ШАГРОВ

Никита Александрович¹

БОЛЬШАКОВ

Александр Сергеевич²

АННОТАЦИЯ

Введение: Рассмотрены вопросы, связанные с перехватом побочных электромагнитных излучений (ПЭМИ), возникающие при выводе изображения на экран монитора, для обеспечения необходимого уровня безопасности обрабатываемых данных в компьютерных системах. Предлагается заменить проведение трудоемких натурных испытаний на моделирование в виртуальной среде с целью выбора способа нейтрализации перехвата видеосигналов ПЭМИ. **Цель исследования:** разработка тестирующего стенда на платформе Multisim с компонентами, имитирующими характеристики реального технического канала перехвата ПЭМИ. **Методы:** в статье использована методика расчета дальности перехвата ПЭМИ оптимальным приемником формируемого в среде Multisim тестового сигнала "точка – через точку", представляющего собой чередование "белых" и "черных" пикселей на мониторе, основанная на учете отношения уровней "сигнал – шум" в ближней, средней и дальней зонах источника излучения и позволяющая получить вероятностную оценку границ зоны перехвата ПЭМИ. **Результаты:** предложенный подход моделирования перехвата видеосигналов средств вычислительной техники (СВТ) показал свою универсальность и возможность замены проведения натурных испытаний. Полученные численные значения протяженности зон перехвата ПЭМИ оптимальным приемником, учитывающим чувствительность принимаемой антенны в различных диапазонах частот спектральных составляющих информативного видеосигнала, указывают на необходимость создания мер по нейтрализации излучений в широком диапазоне частот, обусловленном численными значениями спектральных составляющих гармоник высшего порядка. **Практическая значимость:** разработанный тестирующий стенд в совокупности с используемой методикой оценки зоны перехвата ПЭМИ позволяет выбрать меры защиты информации в виде активного или пассивного способа нейтрализации технического канала утечки информации в соответствии с предложенными алгоритмами.

Сведения об авторах:

¹ бакалавр МТУСИ, Москва, Россия,
shagrov.nikita@mail.ru

² к.т.н., доцент кафедры ИБ МТУСИ,
Москва, Россия, alexbol57@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: видеосистема, побочные электромагнитные излучения, технический канал утечки информации, среда моделирования Multisim, выбор способа защиты информации.

Для цитирования: Шагров Н.А., Большаков А.С. Выбор способа нейтрализации перехвата видеосигналов ПЭМИ с использованием среды Multisim // Научно-технические исследования в космических исследованиях Земли. 2022. Т. 14. № 5. С. 29-37. doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-5-29-37

Введение

Во время обработки информации основными техническими средствами и системами (ОТСС) [1] возникают электромагнитные излучения (ЭМИ) от случайных антенн в виде отдельных токопроводящих элементов ОТСС. Побочные электромагнитные излучения (ПЭМИ) – нежелательные (паразитные) электромагнитные излучения, возникающие при функционировании технических средств обработки информации, могущие приводить к утечке обрабатываемой информации [2]. Основными режимами обработки информации, при которых возникают ПЭМИ являются:

- Ввод данных с клавиатуры;
- Вывод информации на экран монитора;
- Вывод информации на шину принтера;
- Запись и чтение информации на USB носители.

Согласно нормативной документации ФСТЭК [3] при проведении работ по аттестации информационных объектов особое внимание уделяется оценке эффективности принятых мер по защите информации секретного или конфиденциального характера от утечек за счет ПЭМИ. Наиболее опасным (с точки зрения утечки информации) режимом работы средств вычислительной техники является вывод информации на монитор [4,5] согласно работам Хорева А.А. Исследование возможности перехвата ПЭМИ монитора начались практически сразу после изобретения соответствующих СВТ [6]. Злоумышленники для перехвата подобных побочных электромагнитных излучений обычно используют специальные технические средства (СТС) или технические средства разведки (ТСР).

В своей статье [4] Хорев А.А. приводит в пример исследование, проведенное в диссертации М.Г. Кюн [7]. Для перехвата М.Г. Кюн использовал супергетеродинный приемник с логопериодической антенной. Данные эксперименты проводились в здании, где находилось более 100 работающих компьютеров. При экспериментах удавалось перехватывать текстовые изображения, с расстояния 10 м через два офисных помещения, разделенные тремя гипсокартонными стенами.

Для каждого отдельного средства вычислительной техники существует определенная зона, в которой можно осуществить перехват информации требуемого качества с помощью технического средства разведки (ТСР). Данная зона называется зоной R2 и указана на рисунке 1.

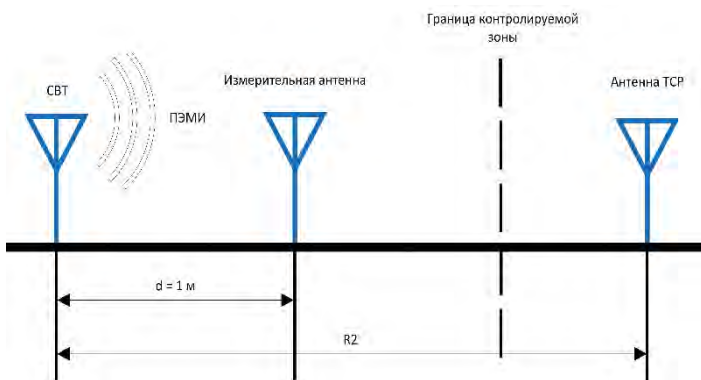


Рис. 1. Зона R2

Зона R2 для каждого средства вычислительной техники определяется экспериментальным методом, так как на качество приема побочного электромагнитного излучения влияют: уровень излучаемого сигнала, затухание преград, через которые проходит электромагнитная волна, зашумленность пространства другими внешними источниками электромагнитного излучения и способ обработки принимаемого сигнала ТСР.

В данной статье авторы предлагают определять способ защиты информационного ресурса согласно приведенному алгоритму с использованием разработанного виртуального стенда для исследования канала утечки ПЭМИ видеосигналов монитора в среде Multisim и методов его закрытия с учетом имитации реальных условий работы СВТ и факторов, влияющих на формировании зоны R2.

Состав виртуального стенда

1. Источник тестовых сигналов монитора, выполненный на микроконтроллере;
2. Осциллограф для исследования временных характеристик информативных сигналов;
3. Спектроанализатор для исследования спектральных характеристик сигналов, уровня шума и сигнала;
4. Генератор шума, имитирующий естественные помехи в среде распространения ПЭМИ;
5. Генератор шума, имитирующий создаваемый шум СЗИ;
6. Имитатор среды распространения ПЭМИ.

Функциональная схема электромагнитного канала утечки информации для исследования зоны перехвата ПЭМИ монитора изображена на рисунке 2.



Рис. 2. Функциональная схема стенда

В работе приведены схемотехнические решения согласно предложенной функциональной схеме рисунка 2 виртуального стенда для исследования перехвата ПЭМИ в среде Multisim рисунок 3.

Используемый микроконтроллер

В стенде используется микроконтроллер серии 805х, для работы которого в среде Multisim написан программный код на специальном языке ассемблера – ams51 [8]. Запуск схемы возможен после того, как в рабочей области проекта собрана соответствующая схема и введен программный код.

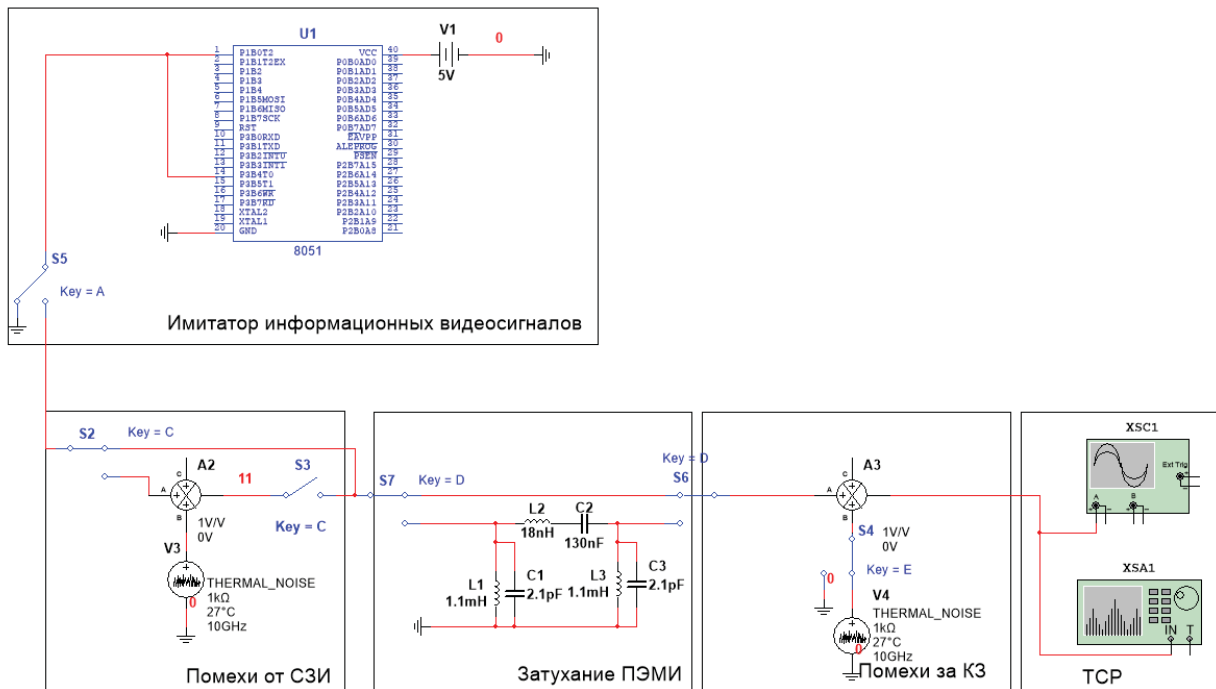


Рис. 3. Принципиальная схема стенда для исследования канала ПЭМИ

Программный код и алгоритм указаны на рисунке 4 и 5 соответственно.

```

1 $MOD51
2 start:
3 MOV R6, #00000001b
4 MOV R5, #00000000b
5 string:
6 ORL TMOD, #00000101b
7 MOV TH0, #0
8 MOV TL0, #0
9 SETB TR0
10 loop:
11 MOV P1, R6
12 MOV R3, #3
13 DJNZ R3, $
14 NOP
15 MOV P1, R5
16 NOP
17 NOP
18 MOV R0, TH0
19 MOV R1, TL0
20 CJNE R1, #11000000b, loop
21 CJNE R0, #00000011b, loop
22
23
24 CLR TR0
25 MOV P1, R5
26 MOV R3, #255
27 DJNZ R3, $
28 MOV R3, #255
29 DJNZ R3, $
30 MOV R3, #255
31 DJNZ R3, $
32 MOV R3, #255
33 DJNZ R3, $
34 MOV R3, #95
35 DJNZ R3, $
36 SJMP string
37 END
    
```

Рис. 4. Код программы

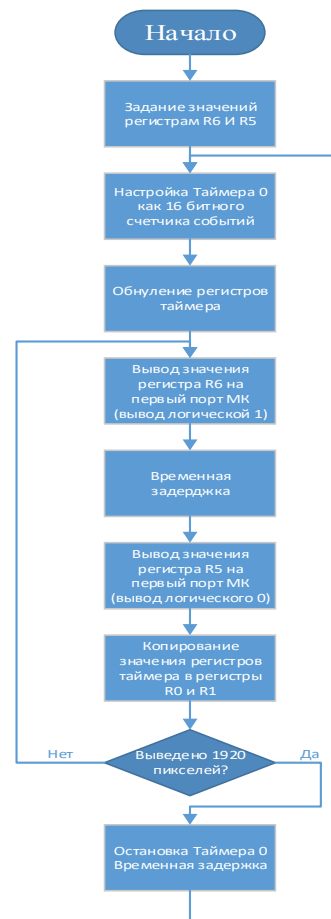


Рис. 5. Блок схема и алгоритм программы формирования видеосигналов

Для исследования временных и спектральных характеристик информативных сигналов в работе используются штатные осциллограф и спектроанализатор платформы Multisim, настройка и функционал которых достаточно полно освещены в специализированной литературе [9,10].

Генератор шума

Генератор шума, имитирующий естественный шум информационного объекта, создаваемый шум СЗИ, а также естественный шум за пределами КЗ (контролируемой зоны) информационного объекта реализован в виде элемента THERMINAL_NOISE. Внешний вид генератора шума показан на рисунке 6.

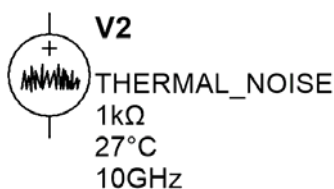


Рис. 6. Элемент генератора шума в инструментах Multisim

В данной статье не рассматривался вопрос адекватности плотности распределения мощности шума реальным условиям, а указан подход и возможность имитации мешающих факторов, которые интересуют специалистов технической защиты информации. Плотность распределения генератора шума инструмента Multisim близка к «белому» в широком диапазоне частот.

Имитатор среды распространения ПЭМИ

Пример принципиальной схемы имитатора среды распространения ПЭМИ представлен на рисунке 7. Имитатор среды распространения в данном примере представляет собой полосовой фильтр, его АЧХ приведена на рисунке 8.

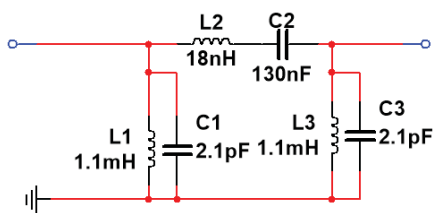


Рис. 7. Принципиальная схема имитатора среды распространения ПЭМИ

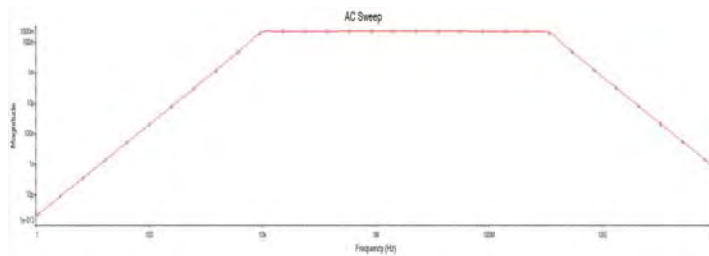


Рис. 8. АЧХ полосового фильтра, имитирующего затухание ПЭМИ

Безусловно, в реальных условиях представляется возможным провести анализ затухания преград и с использованием платформы Multisim подобрать нужный вид АЧХ фильтра.

Работа стенда

Разработан интерфейс имитатора видеосигналов ПК на платформе MULTISIM, который позволяет устанавливать различные опции настройки разрешения монитора. В качестве примера настройки в статье используется разрешение монитора 1920x1080 пикселей с частотой кадровой развертки 60 Гц.

Тестовая программа лабораторного стенда формирует статическую картинку с вертикальными чёрно-белыми полосами точка-через-точку (пиксель) согласно рисунку 9.

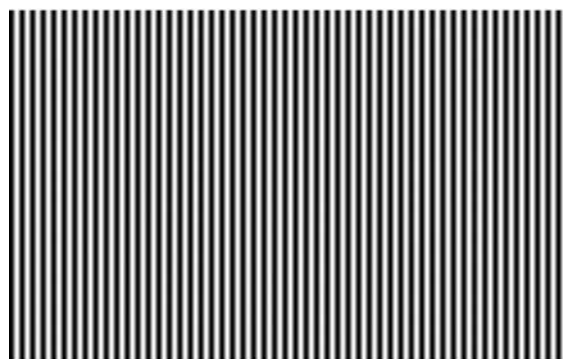


Рис. 9. Вид реального изображения монитора ПК тест-сигнала

Временная последовательность импульсов для режима «ч-б т-ч-т», фиксируемая осциллографом лабораторного стенда, указана на рисунке 10.

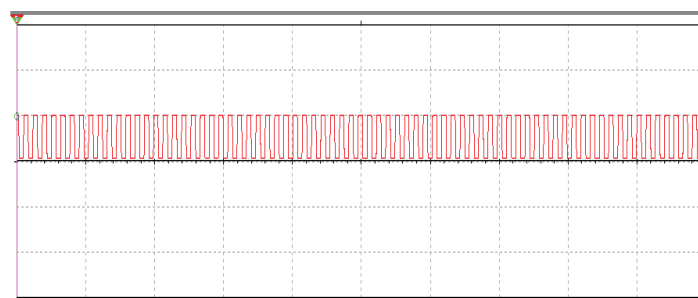


Рис. 10. Вид тестовой пиксельной последовательности

Переключая диапазон временной развертки на 100 нс/Дел, осциллограф покажет пиксельную развертку рисунок 11.

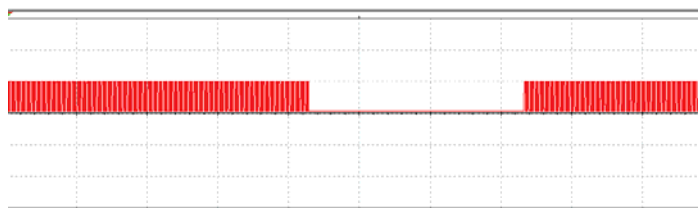


Рис. 11. Вид строчной развёртки



Таблица 1

Результаты измерения уровней $P_{c+ш}$, $P_{ш}$ и соответствующие результаты расчетов напряженности сигнала и шума

Частота f_i , МГц	Сигнал + Шум $P_{c+ш}$, дБмкВ	Сигнал + Шум $P_{c+ш}$, дБмкВ	Сигнал + Шум $E_{c+ш}$, дБмкВ/м	Шум $E_{ш}$, дБмкВ/м	Сигнал + Шум $U_{c+ш}$, мкВ/м	Шум $U_{ш}$, мкВ/м	Сигнал E_c , дБмкВ/м
74,21	127,60	93,80	146,4	112,6	20892961,3	426579,5	146,4
222,62	114,00	91,80	132,5	110,3	4216965,0	327340,7	132,5
371,03	107,10	94,44	124,9	112,2	1757923,6	409260,7	124,7
519,44	105,40	73,00	122,4	90,0	1318256,7	31622,8	122,4
667,85	102,20	89,64	119,600	107,0	954992,6	224905,5	119,4
816,25	95,43	95,10	115,330	115,0	584117,2	562341,3	104,0
964,66	95,03	94,53	118,830	118,3	873977,0	825087,5	109,2

Численные значения спектральной чувствительности антенны разведки $E_{ш. ант}$, которые характеризуют минимальные уровни входного сигнала антенны в определенном диапазоне частот, необходимые для обеспечения требуемого качества полученной информации.

Численные значения коэффициента калибровки антенны (antenna factor; K_a) характеризуют отношение напряженности электрического поля плоской волны, воздействующей на антенну, к напряжению, наводимому в определенной нагрузке (обычно 50 Ом), подключенной к антенне. Коэффициент калибровки антенны имеет физическую размерность, выраженную в обратных метрах (m^{-1}), а измеренные данные обычно выражают в дБ/м. Значения спектральной чувствительности антенны разведки и коэффициента калибровки антенны приводятся в техническом паспорте антенн. В данных расчетах используются технические характеристики измерительной антенны НБА-02 [12].

При измерениях излучаемых помех при известном K_a , напряженность падающего поля E может определяться из показаний P измерительного приемника, подключенного к антенне, по формуле $E=P+K_a$, где E выражено в дБмкВ/м; P – в дБмкВ; K_a – в дБмкВ/м.

В ближней зоне электрическая составляющая электромагнитного поля E_c убывает обратно пропорционально кубу расстояния ($\sim 1/r^3$), в дальней – обратно пропорционально расстоянию ($\sim 1/r$). Если предположить, что в средней зоне электрическая составляющая электромагнитного поля E_c убывает обратно пропорционально квадрату расстояния ($\sim 1/r^2$), то можно рассчитать коэффициенты ослабления ПЭМИ для каждой зоны. Принимая во внимание, что верхняя частота приема антенны НБА-02 равна 2500 МГц [7], тогда коэффициент ослабления V_r сигнала ПЭМИ на i -й частоте в j -м интервале спектра ПЭМИ рассчитывается в зависимости от измеренных частот сигнала:

Для частоты ниже $f \leq 66,31 \text{ МГц}$

$$V_r \approx \begin{cases} r^3 & \text{если } r \leq \frac{66,31}{f} \\ \frac{66,31 * r^2}{f} & \text{если } \frac{66,31}{f} < r \leq \frac{2500}{f} \\ \frac{16,57 * 10^4 * r}{f^2} & \text{если } r > \frac{2500}{f} \end{cases} \quad (6)$$

Стенд имитирует экран монитора с разрешением 1920x1080 и с частотой обновления 60 Гц.

Микроконтроллер посредством таймера 0 (см. рис. 5) отсчитывает 1920 пикселей, затем делает задержку времени перед отправкой следующей строки пикселей, имитируя тем самым переход между строками, который присутствует при выводе изображения на реальный монитор.

На рисунке 12 представлены группы частот первой гармоники $\approx 74,240$ МГц, также группы частот третьей, пятой и седьмой гармоник. Помимо спектральных составляющих наблюдается спектральная плотность мощности «естественного» шума.

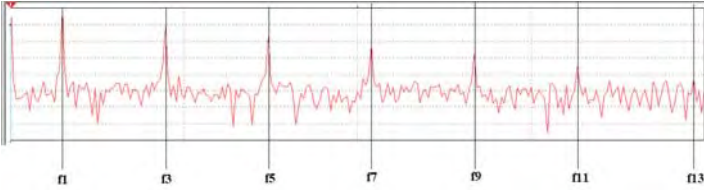


Рис. 12. Спектральная плотность мощности тест сигнал + шум

Расчет напряженности сигнала и шума согласно алгоритму, представленному на рисунке 13 по следующим формулам [5].

$$E_{c+ш} = P_{c+ш} + K_a, \text{ дБмкВ / м} \quad (1)$$

$$E_{ш} = P_{ш} + K_a, \text{ дБмкВ / м} \quad (2)$$

$$U_{c+ш} = 10^{0,05 * E_{c+ш}}, \text{ мкВ / м} \quad (3)$$

$$U_{ш} = 10^{0,05 * E_{ш}}, \text{ мкВ / м} \quad (4)$$

$$E_c = 20 \lg(\sqrt{U_{c+ш}^2 - U_{ш}^2}) \quad (5)$$

На рисунке 13 предложен алгоритм расчета зоны R2 для разных видеосигналов при действующем уровне шума без применения СЗИ. Он состоит из двух частей: первая – это определение частот $f_1 - f_i$ для каждой группы основных гармоник ПЭМИ и соответствующих уровней (сигнал+шум) и (шум) на этих частотах, вторая – алгоритм расчета зоны R2.

В реальных условиях важно оценить соотношение сигнал/шум вплоть до 7-й гармоники, т.к. и по ней возможно реализовать перехват, если соотношение сигнал/шум будет превышать указанный порог [5, 11]. Важно понимать, что чувствительность рассматриваемой антенны ТСР имеет увеличение в районе 450-500 МГц, а в реальных условиях спектр шума неравномерен и в случае наличия тенденции его затухания при увеличении частоты перехват ПЭМИ по гармоникам высокого порядка вполне вероятен.

Согласно алгоритму, представленному на рисунке 13, проводятся измерения уровня $P_{c+ш}$, после чего отключается информативный сигнал и измеряется уровень $P_{ш}$. Полученные значения заносятся в таблицу 1.

Предложенный виртуальный стенд позволяет установить уровень генератора шума платформы Multisim (рис. 6), адекватный реально измеренному, т.е. $P_{ш}$ в интересующей полосе частот.

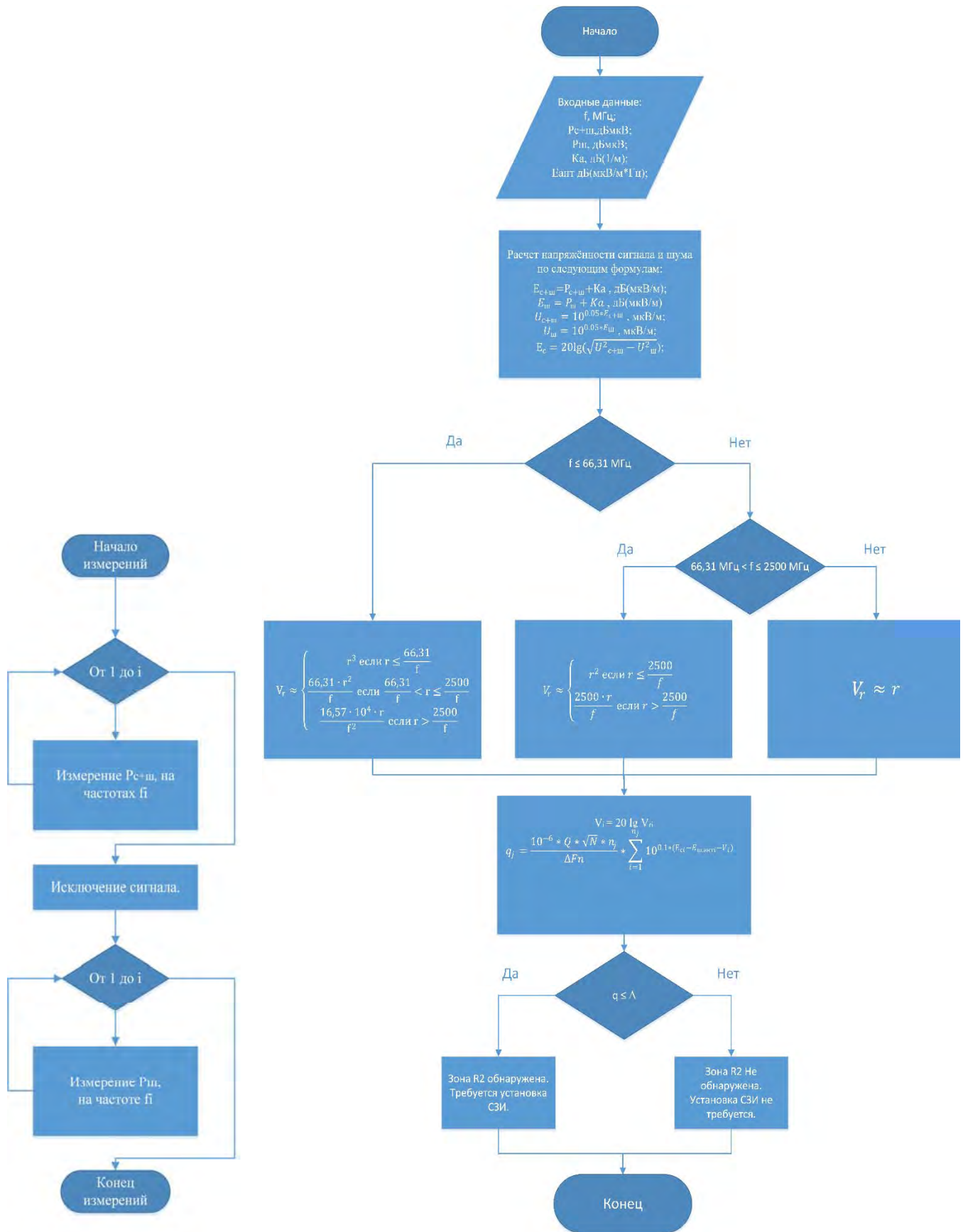


Рис. 13. Алгоритм расчета зоны R2

Для частоты сигнала ПЭМИ $66,31 \text{ МГц} < f \leq 2500 \text{ МГц}$

$$V_r \approx \begin{cases} r^2 & \text{если } r \leq \frac{2500}{f} \\ \frac{2500 * r}{f} & \text{если } r > \frac{2500}{f} \end{cases} \quad (7)$$

Для частоты сигнала ПЭМИ $f > 2500 \text{ МГц}$

$$V_r \approx r \quad (8)$$

где f – частота измеренного сигнала ПЭМИ, МГц; r – расстояние от ПЭВМ до средства разведки, м

Следует принять во внимание необходимость перехода от безразмерных численных значений коэффициента ослабления сигнала на i -й частоте V_r к относительным (дБ) согласно выражению

$$V_i = 20 \lg V_{ri} \quad (9)$$

Следует рассчитать соотношение сигнал/шум на j -ом интервале спектральных составляющих ПЭМИ согласно следующей формуле [5].

$$q_j = \frac{10^{-6} * Q * \sqrt{N} * n_j}{\Delta F n} * \sum_{i=1}^{n_j} 10^{0,1 * (E_{ci} - E_{u,anti} - V_i)} \quad (10)$$

Где Q – скважность сигнала, равная $\frac{T}{\tau} = 2$ при использовании предлагаемой тестовой программы;

Следует обратить внимание на то, что расчет значений N при исследовании ПЭМИ от различных устройств СВТ отличается друг от друга:

Для монитора N – число перехваченных кадров за время перехвата ПЭМИ, равное $T_a * F_k$, например, за время $T_a = 60$ сек число перехваченных кадров при частоте кадровой развертки F_k , равной 60 Гц, $N = 3600$ штук кадров;

$\Delta F n = 1 / \tau$ – ширина полосы пропускания приемника ПЭМИ, МГц, где τ – минимальная длительность пиксельного тестового сигнала при определенном разрешении монитора, в случае выбора разрешения монитора 1920×1080 $\tau = 6,7$ нсек, $\Delta F n = 148,5$ МГц [13];

E_{ci} – рассчитанное значение уровня напряженности сигнала на i -й анализируемой частоте ПЭМИ, дБмкВ/м;

$E_{ш,ант i}$ – чувствительность антенны разведки на i -й анализируемой частоте ПЭМИ, дБмкВ/м, характеризующая пороговое значение шума, которое должен превысить сигнал ПЭМИ на частоте f_i ;

V_i – величина затухания сигнала на i -ой частоте в j -ой полосе пропускания спектроанализатора при анализе j -ой гармонической составляющей спектра ПЭМИ, дБ;

$\Delta = 2,68$ – критерий, значение которого зависит от соотношения сигнал/шум на входе приемника при оптимальном приеме дискретных сигналов при допущении наличия помех в виде «белого» шума.

Далее определить отношение сигнал-шум q по формуле (10) при различных значениях затухания V_i согласно формулам 6-8.

В случае, если $q > \Delta$, то в пределах расчетного радиуса R_2 в анализируемой полосе группы частот j -ой гармонической составляющей перехват ПЭМИ возможно реализовать, противном случае получаем предельное значение радиуса R_2 .

В случае получения численного значения R_2 , превышающего расстояние от исследуемого СВТ до границы контролируемой зоны КЗ, за пределами которой вероятна работа ТСП, требуется реализовать меры по нейтрализации такого канала перехвата ПЭМИ.

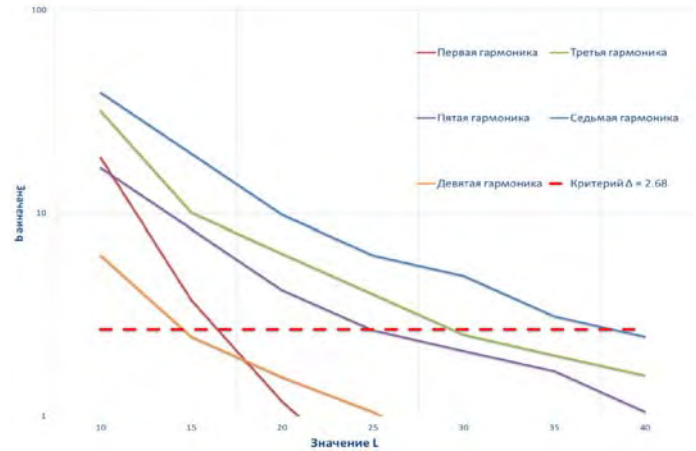


Рис. 14. Зависимость отношения q сигнал шум от расстояния L

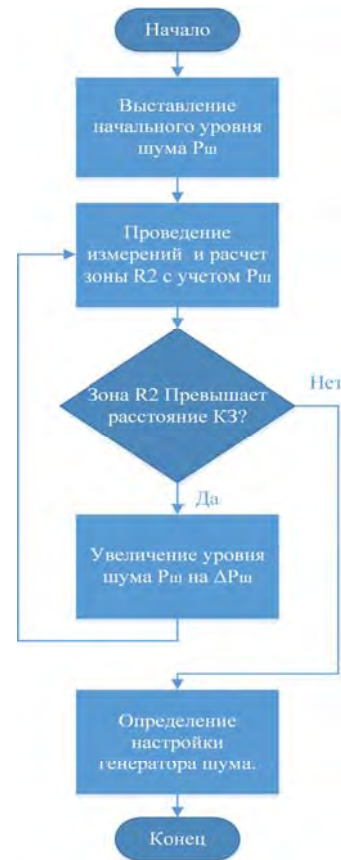


Рис. 15. Алгоритм расчета требуемого уровня шума СЗИ

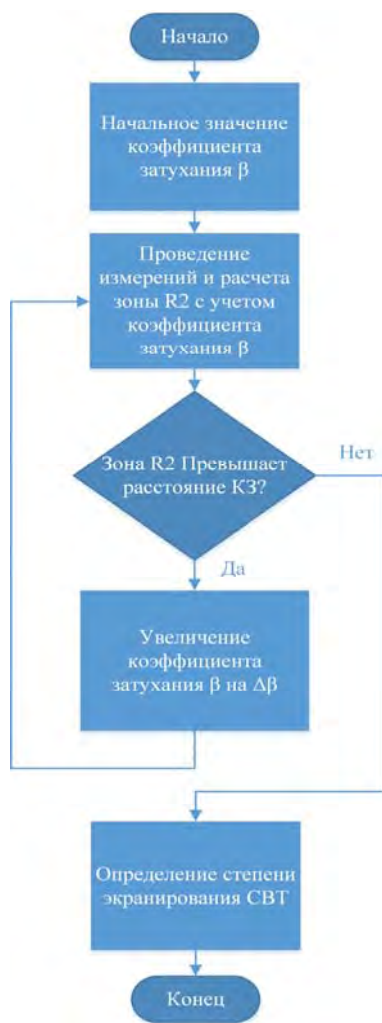


Рис. 16. Алгоритм расчета требуемого уровня затухания сигнала с использованием экранирования СВТ

Как видно из рисунка 14, за счет того, что значение чувствительности антенны ТСР в районе 500 МГц является максимальным (в области диапазона частот седьмой гармоники), то опасность перехвата информативного сигнала на данной частоте является наиболее вероятной. Также стоит отметить, что не выполняется критерий $q \leq \Delta$, для первой, третьей и пятой гармоник, следовательно, недостаточно обеспечить защиту только в диапазоне седьмой гармоники, необходимо обеспечить защиту на большем диапазоне частот.

Для устранения данной угрозы применяется, как и экранирование источника ПЭМИ [14], так и пространственное зашумление с помощью СЗИ [15]. Поэтому в статье (см. рис. 15, 16) предложены алгоритмы расчета требуемых уровней шума СЗИ и затухания информативного сигнала с использованием экранирования СВТ для обеспечения информационной безопасности.

Заключение

Таким образом, в данной статье предложена возможность моделирования перехвата ПЭМИ среде Multisim и методики определения параметров СЗИ для нейтрализации подобного

технического канала утечки информации. Данный виртуальный стенд можно масштабировать, что позволит его использовать в учебном процессе для обучения студентов специальности 10.03.01 взамен проведения натуральных испытаний. Целесообразность проведения имитационных испытаний с использованием данного стенда взамен натуральных, позволяющего апробировать активные и пассивные меры защиты информации, не вызывает сомнений.

Литература

1. *Кислицын Д.В.* Разработка измерительного комплекса для оценки защищенности технических средств от утечки информации по каналу побочных электромагнитных излучений и наводок // *Физика для Пермского края*. 2013. №6. С. 114-117.
2. *Королев В.М.* Методика расчета границ зоны защищенности информации при измерениях ПЭМИ в дальней волновой зоне источника излучения // *Безопасность информационных технологий*. 2013. Том 20, № 1. С. 58-62.
3. ФСТЭК России, 2008 Базовая модель угроз безопасности персональных данных при обработке в информационных системах персональных данных (выписка) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://fstec.ru/component/attachments/download/289>, свободный (дата обращения: 24.10.2022)
4. *Хорев А.А.* Защита информации от утечки по техническим каналам. Часть 1. Технические каналы утечки информации. М.: Гостехкомиссия РФ, 1998. 320 с.
5. *Хорев А.А.* Оценка возможности обнаружения побочных электромагнитных излучений видеосистемы компьютера // *Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники*. 2014. №2 (32). С. 207-213.
6. *Хорев А.А.* Техническая защита информации: учеб. Пособие для студентов вузов: в 3 т. Т.1: Технические каналы утечки информации. М.: ИПЦ «Аналитика», 2008. 436 с.
7. *Wim van Eck.* Electromagnetic Radiation from Video Display Units: An Eavesdropping Risk? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://cryptome.org/emg.pdf> (дата обращения: 17.10.2022).
8. *Магда Ю.С.* Микроконтроллеры серии 8051: Практический подход. М.: ДМК Пресс, 2008. 228 с.
9. *Шегал А.А.* Применение программного комплекса Multisim для проектирования устройств на микроконтроллерах: лабораторный практикум. Екатеринбург: Уральский университет, 2014. 118 с.
10. *Колесникова Т.* Работа с виртуальными приборами в программной среде NI Circuit Desing Suite – Multisim 12.0. Часть 1. // *Компоненты и технологии*. 2014. №1. С. 158-161.
11. Исследование побочных электромагнитных излучений видеосистем средств вычислительной техники. Шифр «107-ИПП-ИБ»: отчет о НИР «закл.ч.» / МИЭТ; рук. А.А. Хорев. М., 2013. 167 с.
12. Антенна биконическая измерительная НБА-02 Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.priborelektro.ru/download/file/1/2/1100/RukNBA02.pdf>, свободный (дата обращения: 25.11.2022).
13. VESA and Industry Standards and Guidelines for Computer Display Monitor Timing (DMT) Version 1.0, Rev. 13 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://glenwing.github.io/docs/VESA-DMT-1.13.pdf>, свободный (дата обращения: 19.11.2022).
14. *Петров И.С.* Локализация и ослабление побочных электромагнитных излучений от средств вычислительной техники путем экранирования электромагнитных волн // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника*. 2012. №15. С. 189-191.
15. *Дремухин М.А., Кузовников А.В., Стрекалов Т.В.* Разработка перенастраиваемых диапазонных генераторов шума // *Сибирский аэрокосмический журнал*. 2022. Том 23. № 2. С. 156-166.



SELECTING A WAY TO NEUTRALIZE COMPROMISING ELECTROMAGNETIC EMANATIONS VIDEO INTERCEPTION USING THE MULTISIM ENVIRONMENT

NIKITA A. SHAGROV

Moscow, Russia, shagrov.nikita@mail.ru

ALEXANDER S. BOLSHAKOV

Moscow, Russia, alexbol57@mail.ru

ABSTRACT

Introduction: The paper considers issues related the interception of compromising electromagnetic emanations arising when displaying images on the monitor screen to ensure the necessary level of security of the processed data in computer systems. It is proposed to replace time-consuming full-scale tests by simulation in a virtual environment in order to choose the way to neutralize video interception of compromising electromagnetic emanations. **Research objective:** to develop a test bed on Multisim platform with components that simulate the characteristics of a real technical channel of compromising electromagnetic emanations interception. **Methods:** the article uses the method of calculating the range of interception of compromising electromagnetic emanations by the optimal receiver of the test signal "point - through point" generated in Multisim, which is an alternation of "white" and "black" pixels on the monitor, based on the ratio of signal to noise in the near, middle and far zones of the radiation source and allows to obtain a probabilistic

KEYWORDS: video system, compromising electromagnetic emanations, technical channel of information leakage, circuit simulator Multisim, the interception of information.

assessment of the boundaries of the compromising electromagnetic emanations interception zone. **Results:** The proposed approach of modeling of video interception of computer equipment showed its universality and the possibility of replacing the field tests. Obtained numerical values of the extent of compromising electromagnetic emanations interception zones by the optimal receiver, taking into account the sensitivity of the received antenna in different frequency ranges of the spectral components of the informative video signal indicate the need to create measures for neutralization of emissions in a wide frequency range due to numerical values of the spectral components of higher order harmonics. **Practical significance:** the developed test bed in conjunction with the used methodology for assessing the compromising electromagnetic emanations interception zone allows to choose information protection measures in the form of active or passive method of neutralization of the technical channel of information leakage in accordance with the proposed algorithms.

REFERENCES

1. D.V. Kislicyn (2013). Razrabotka izmeritel'nogo kompleksa dlja ocenki zashhishhjonosti tehniceskikh sredstv ot utechki informacii po kanalu pobochnyh jelektromagnitnyh izluchenij i navodok. *Fizika dlja Permskogo kraja*. No.6, pp. 114-117. (In Rus)
2. V.M. Korolev (2013). Method of calculation of the zone boundary protection of information in the far field radiation source // *Bezopasnost' informacionnyh tehnologij*. Vol 20, no. 1, pp. 58-62. (In Rus)
3. FSTJeK Rossii, 2008 Bazovaja model' ugroz bezopasnosti personal'nyh dannyh pri obrabotke v informacionnyh sistemah personal'nyh dannyh (vypiska).
4. A.A. Horev (1998). Zashhita informacii ot utechki po tehniceskim kanalam. Chast' 1. Tehniceskije kanaly utechki informacii. Moscow: Gostehkomissija RF. 320 p. (In Rus)
5. A.A. Horev (2014). evaluation of the possibility of detection side compromising electromagnetic emanations video PC. *Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravlenija i radiojelektroniki*. No.2 (32), pp. 207-213. (In Rus)
6. A.A. Horev (2008). Tehniceskaja zashhita informacii: uceb. Posobie dlja studentov vuzov. Vol.1: Tehniceskije kanaly utechki informacii. Moscow: IPC "Analitika". 436 p. (In Rus)
7. Wim van Eck. Electromagnetic Radiation from Video Display Units: An Eavesdropping Risk? <http://cryptome.org/emr.pdf>, (date of access: 17.10.2022).
8. Ju.S. Magda (2008). Mikrokontrollery serii 8051: Prakticheskij podhod. Moscow: DMK Press. 228 p.
9. A.A. Shegal (2014). Primenenie programmnoho kompleksa Multisim dlja proektirovanija ustrojstv na mikrokontrollerah: laboratornyj praktikum. Ekaterinburg: Ural'skij universitet. 118 p.
10. T. Kolesnikova (2014). Rabota s virtual'nymi priborami v programnoj srede NI Circuit Desing Suite – Multisim 12.0. Chast' 1. *Komponenty i tehnologii*. No.1, pp. 158-161.
11. Issledovanie pobochnyh jelektromagnitnyh izluchenij videosis-tem sredstv vychislitel'noj tehniki. Shifr "107-IPP-IB": otchet o NIR "zakljuch." / MJeT; ruk. A.A. Horev ? M., 2013. ?167 s.
12. Biconical measuring antenna NBA-02. Manual. URL: <https://www.priborelektro.ru/download/file/1/2/1100/RukNBA02.pdf>.
13. VESA and Industry Standards and Guidelines for Computer Display Monitor Timing (DMT) Version 1.0, Rev. 13. URL: <https://glennwing.github.io/docs/VESA-DMT-1.13.pdf>.
14. I.S. Petrov (2012). Localization and reduction of stray electromagnetic radiation from computer equipment by means of electromagnetic waves shielding. *Vestnik Juzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Komp'juternye tehnologii, upravlenie, radiojelektronika*. No.15, pp. 189-191.
15. M. A. Dremuhin, A. V. Kuzovnikov, T. V. Strekaev (2022). Development of tunable band noise generators. *Sibirskij ajerokosmicheskij zhurnal*. Vol. 23, no. 2, pp. 156-166.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Nikita A. Shagrov, bachelor MTUCI, Moscow, Russia

Alexander S. Bolshakov, Doctor of Technical Sciences, assistant professor of the Department of IS of MTUCI, Moscow, Russia

For citation: Shagrov N.A., Bolshakov A.S. Selecting a way to neutralize compromising electromagnetic emanations video interception using the Multisim environment. H&ES Reserch. 2022. Vol. 14. No 5. P. 29-37. doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-5-29-37 (In Rus)

ОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ МОДЕЛИ ОСЛАБЛЕНИЯ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ РАДИОВОЛН

ГОЛОВСКОЙ
Василий Андреевич¹

АННОТАЦИЯ

Введение. Настоящий технологический уклад характеризуется увеличением роли интеллектуализированных технологий в различных сферах жизнедеятельности общества. Одну из таких технологий описывает концепция когнитивного радио. Одной из отличительных особенностей этой технологии являются декларируемые способности получения знаний о своей среде эксплуатации, динамически и автономно корректировать свои эксплуатационные параметры и протоколы согласно полученным знаниям, а также позволяющие системе учиться на основе полученных результатов. **Методы:** В работе представлен разработанный подход к идентификации модели ослабления при распространении радиоволн на урбанизированной территории. Под идентификацией при этом понимается определение из имеющихся описаний набора моделей конкретной модели ослабления, наиболее полно описывающей условия распространения радиоволн на рассматриваемой территории. Для верификации предложенного аналитического аппарата разработан соответствующий алгоритм и осуществлена его программная реализация с помощью языка программирования Python.

Результаты исследования: Приведены результаты проведенного моделирования для идентификации полуэмпирических моделей ослабления Окумура-Хата и Ибрагим-Парсонса, наиболее часто используемых на практике для описания условий распространения радиоволн. Предложенный подход может быть использован в когнитивных радиосистемах для формирования знаний о среде эксплуатации и последующей корректировки указанных знаний. Под знаниями в этом случае в соответствии с принятым производственным подходом понимаются данные, позволяющие эффективно получить решение поставленной задачи. Сформулирована гипотеза о том, что: модели ослабления позволяют описывать местность с качеством, удовлетворительным для формирования когнитивной радиосистемой знаний о своей среде эксплуатации.

Сведения об авторах:

¹ Старший научный сотрудник отдела научно-исследовательской работы и инновационного развития, к.т.н., доцент, Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО "Московский технический университет связи и информатики", г. Ростов-на-Дону, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: распространение радиоволн, идентификация, зона покрытия, модель ослабления, эмпирическая модель, когнитивное радио, радиосистема.

Для цитирования: Головской В.А. Об идентификации модели ослабления при распространении радиоволн // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2022. Т. 14. № 5. С. 38-44.
doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-5-38-44



Введение

Настоящий технологический уклад характеризуется увеличением роли интеллектуализированных технологий в различных сферах жизнедеятельности общества. Одну из таких технологий описывает концепция когнитивного радио [1]. Одной из отличительных особенностей этой технологии являются декларируемые способности «получения знаний о своей среде эксплуатации, динамически и автономно корректировать свои эксплуатационные параметры и протоколы согласно полученным знаниям, а также позволяющие системе учиться на основе полученных результатов» [1].

В работе [2] были предложены принципы создания базы знаний подсистемы управления когнитивной радиосистемы (РС), предполагающие использование продукционного подхода. Указанные принципы требуют получения данных о среде эксплуатации, необходимых для прогнозирования изменений характеристик среды и выбора, исходя из этого прогноза, оптимальной конфигурации телекоммуникационных ресурсов РС [18, 19, 20]. В качестве телекоммуникационных ресурсов РС рассматриваются диапазоны частот, ширина спектра сигналов, тип сигнально-кодовой конструкции, тип мультиплексирования, режим работы, типы пакета, способ первичного кодирования и другие, позволяющие в системном единстве обеспечивать требуемые характеристики РС [21, 22].

Знания о среде эксплуатации должны учитывать характеристики распространения радиоволн на занимаемой территории [2], которые в настоящее время с достаточной точностью описываются соответствующими моделями ослабления при распространении радиоволн. Также формат представления знаний должен обеспечивать возможность формирования из уже имеющихся новых знаний, т.е. самообучения, а также – наиболее экономное в некотором роде описание знаний [3]. С учетом того, что данные требуются для описания среды функционирования РС в целях выбора на их основе оптимальных режимов функционирования этой РС, то представляется целесообразным использовать модели ослабления для описания указанных условий. Исходя из этого заключения, сформулирована **Гипотеза**: модели ослабления позволяют описывать местность с качеством, удовлетворительным для формирования когнитивной РС знаний о своей среде эксплуатации. В данной работе не будет рассматриваться важный вопрос о том, насколько экономно такое описание.

Вопросы прогнозирования зон покрытия сетей подвижной радиосвязи являются достаточно актуальными ввиду интенсивного развития телекоммуникаций и усложняющейся ситуации с занятостью радиочастотного спектра [4–11].

Исследования точностных характеристик некоторых наиболее популярных статистических моделей ослабления $L_j = L(x_1, \dots, x_n)$, $j = \overline{1, N_L}$, как функций в предположении случайного характера аргументов x_n , показали, что величины ослабления при прогнозировании существенно зависят от неточности задания некоторых аргументов [4]. Индекс j в настоящей работе обозначает порядковый номер рассматриваемой модели ослабления.

В работах [6, 13] предлагались различные подходы к корректировке конкретной модели ослабления с учетом особенностей местности. Необходимость осуществления корректировки в целях более адекватного описания среды функционирования РС объясняется таким известным недостатком моделей ослабления [4, 10, 12], как низкая точность априорной оценки условий распространения радиоволн. Однако в работе [13] не было указано, как должна выбираться модель для корректировки, и была выбрана наиболее популярная – модель Окумура-Хата [14], принимаемая в качестве опорной при планировании радиопокрытия систем подвижной радиосвязи в городской местности [15]. Это объясняется тем, что отсутствует аппарат определения модели ослабления, соответствующей наиболее полно в некотором смысле текущим условиям обстановки.

Таким образом задача определения конкретной модели ослабления, наиболее полно описывающей условия распространения радиоволн и необходимой для последующей корректировки, представляется актуальной. Будем называть задачу определения конкретной модели ослабления, наиболее полно описывающей условия распространения радиоволн, задачей идентификации модели по аналогии с [16]. Применительно к концепции когнитивного радио корректировка модели ослабления будет являться этапом уточнения данных о среде.

Цель работы – формирование подхода к решению сформулированной выше задачи идентификации модели.

Постановка задачи

Рассматривается функционирующая на урбанизированной территории РС, содержащая в своем составе базовую станцию (БС) и N_{MS} мобильных станций (МС).

В настоящее время для описания условий распространения радиоволн и прогнозирования радиопокрытия используется множество моделей ослабления, имеющих различные точностные характеристики, наборы x_n и границы применимости [4, 10, 11].

Наиболее часто используемыми на практике моделями ослабления являются: L_1 – модель Окумура-Хата, L_2 – модель Ибрагим-Парсонса, L_3 – модель COST231-Хата, L_4 – модель Уолфиш-Иекегами. Значения ослаблений мощности радиосигнала при распространении на урбанизированной территории от удаления МС от БС (d) для моделей ослабления $L_1 - L_4$ представлены на рисунке 1.

При моделировании было принято: частота несущей $f = 450$, МГц; высоты подвеса антенны БС и МС соответственно $h_{BS} = 45$, м и $h_{MS} = 1,5$ м, а данные о местности заданы следующим образом: $B = 95$ % площади занято зданиями, $\eta = 70$ % территории занято зданиями выше трех этажей, $H = 50$ средний перепад высот, м.

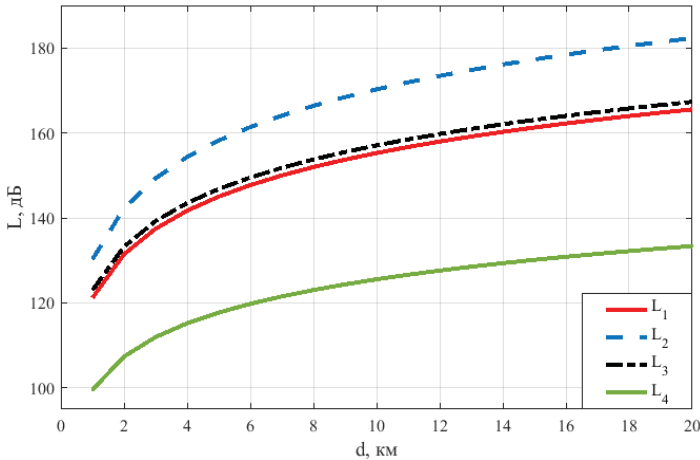


Рис. 1. Ослабление радиосигнала для различных моделей

На вход радиоприемного устройства МС поступает аддитивная смесь белого гауссовского шума и ослабленного радиосигнала от БС с мощностью, определяемой как

$$P_r = P_t + G - L_j, \quad (1)$$

где P_t – полная мощность, подводимая к антенне на БС, дБмВт; G – коэффициент усиления передающей и приемной антенн, дБ; L_j – ослабление радиосигнала при распространении, определяемое отношением передаваемой мощности сигнала к принимаемой, описываемое j -й моделью, дБ.

Далее будут рассматриваться в качестве примера только модели Окумура-Хата

$$L_1 = 69,55 + 26,161 \lg f - 13,82 \lg(h_{MS}) - Q + (44,9 - 6,55 \lg(h_{BS})) \lg d, \quad (2)$$

где $Q = (3,2(\lg(11,75 h_{MS}))^2 - 4,97)$ – поправочный коэффициент для высоты антенны МС для городских условий [4]; и модель Ибрагима-Парсонса, описываемая выражением

$$L_2 = 40 \lg d - 20 \lg(h_{MS} h_{BS}) + 20 + \frac{f}{40} + 0,18 B - 0,34 H + K, \quad (3)$$

где K – коэффициент относительной площади застройки, для центров больших городов $K = 0,094\eta - 5,9$.

Необходимо разработать алгоритм A идентификации модели L_j , наиболее полно описывающей условия распространения радиоволн на рассматриваемой территории, при имеющихся описаниях моделей $L_j = L(x_1, \dots, x_n)$, $j = \overline{1, N_L}$,

$$A(D_E) = \hat{j}, j = \overline{1, N_L}, \quad (4)$$

где D_E – описание внешней среды. Применительно к модели (3) $D_E \supset \{K, B, H\}$. Необходимо отметить требование

иметь достаточно простой в вычислительном плане алгоритм A .

При разработке алгоритма приняты следующие допущения и ограничения:

- гипотеза о взаимодействии с шумом: канал с аддитивным белым гауссовским шумом;
- ошибки измерений считаются некоррелированными;
- имеются априорные данные о рельефе и урбанизации местности K, B и H .

Предлагаемый алгоритм

Предлагается следующий подход к идентификации модели ослабления, описанный при помощи блок-схемы алгоритма на рисунке 2.

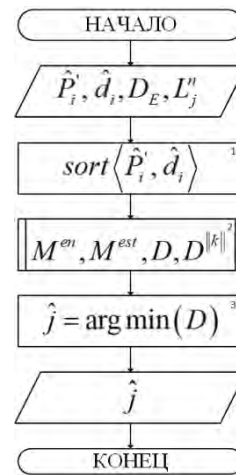


Рис. 2. Блок-схема алгоритма

На вход алгоритма поступают данные об оценке мощности \hat{P}_i сигнала на входе радиоприемника МС $_i$, $i = \overline{1, N_{MS}}$, находящейся на удалении \hat{d}_i от БС, а также данные о среде (D_E) и набор описаний моделей L_j .

В блоке №1 реализуется сортировка массива по величине удаления МС $_i$ от БС.

В блоке №2 реализуется построение матрицы значений мощностей $P_i^{L_j}$, рассчитанных согласно (1) для рассматриваемых моделей L_j ,

$$M^{en} = (P_i^{L_j})_{N_L \times N_{MS}}, \quad (5)$$

матрицы данных об оценке мощности \hat{P}_i сигнала на входе радиоприемника МС $_i$ $i = \overline{1, N_{MS}}$,

$$M^{est} = (\hat{P}_i)_{1 \times N_{MS}}, \quad (6)$$

и матрицы невязок

$$D = (\Delta_i^{L_j})_{N_L \times N_{MS}} \quad (7)$$

путем вычитания из каждой строки M^{en} матрицы (6). После этого строится вектор

$$D^{||k||} = \left(\left\| \Delta^{L_j} \right\|_k \right)_{N_L \times 1} \quad (8)$$

невязок в k -й метрике. При этом может быть выбрана конкретная метрика для получения $\left\| \Delta^{L_j} \right\|_k$ или рассмотрено сразу несколько таких метрик.

В блоке №3 осуществляется нахождение индекса минимальной метрики в векторе (8)

$$\hat{j} = \arg \min(D). \quad (9)$$

Предложенный алгоритм в целях моделирования реализован программно [17]. Для определения доли правильно идентифицированной модели ослабления введена величина, характеризующая процент верной идентификации модели ослабления, определяемая отношением количества верно идентифицированных моделей (N_j) к количеству итераций идентификаций (N_{it}) для каждой шумовой реализации

$$V = \frac{N_j}{N_{it}} 100\% .$$

Рассмотрим особенности процесса идентификации моделей L_1 и L_2 . При моделировании были заданы следующие исходные данные:

$f = [450; 900]$ МГц; $B = 95$, $H = 50$, $\eta = 70$, $h_{BS} = 45$, м;
 $h_{MS} = 1,5$, м, $N_{MS} = \overline{4,10}$, $N_{it} = 300$;
параметры шума: $\mu = 0$, $\sigma = \overline{1,40}$ дБмВт.

При построении вектора (8) использовалась норма Эуклида

$$\left\| \Delta^{L_j} \right\| = \left(\sum_{i=1}^{N_{MS}} \left(\Delta_i^{L_j} \right)^2 \right)^{1/2}, \quad i = \overline{1, N_{MS}}, \quad j = \overline{1, 4} .$$

Результаты моделирования для модели Окумура-Хата и $f = 450$ МГц, отражающие зависимость $V(N_{MS}, \sigma)$, приведены на рисунке 3, дающем общее представление о характере зависимости, однако не позволяющем достаточно полно исследовать влияние изменения величин N_{MS} и σ на значение $V(N_{MS}, \sigma)$. Более подробно исследовать указанные зависимости позволяет рисунок 4, где значения $V(\sigma)$ для $f = 450$ МГц приведены в верхней части рисунка, и для $f = 900$ МГц – в нижней.

Рисунки 3 и 4 позволяют увидеть, что даже при достаточно небольшом уровне шумов в канале модель Окумура-Хата может быть идентифицирована неверно. Это может быть объяснено тем, что модели ослабления при распространении радиоволн Окумура-Хата и COST231-Хата, как

видно из рисунка 1, обеспечивают получение достаточно близких результатов.

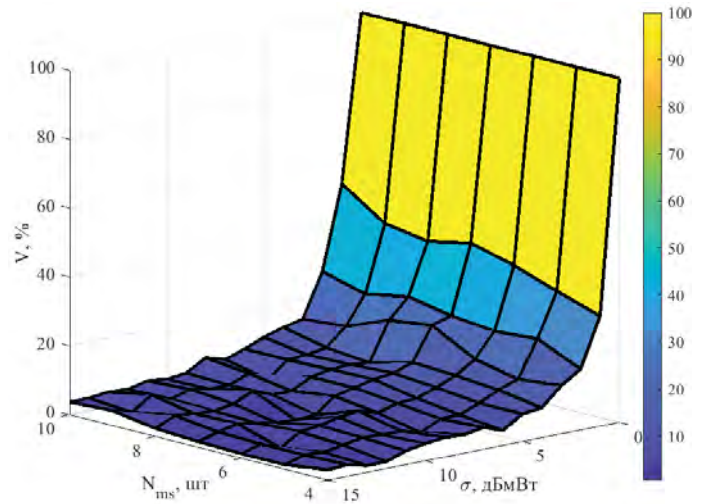


Рис. 3. Результаты моделирования $V(N_{MS}, \sigma)$ для L_1

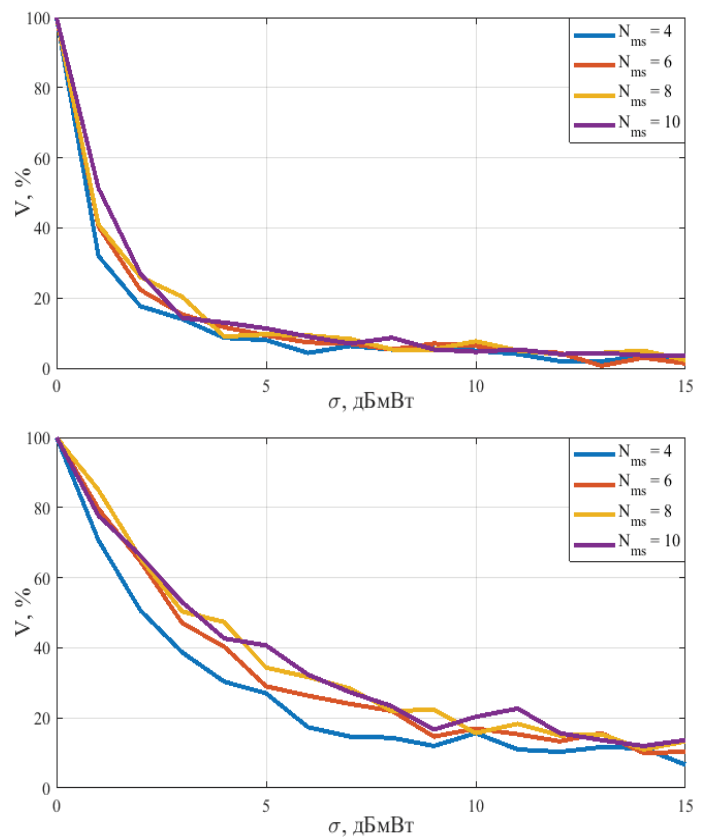


Рис. 4. Результаты моделирования $V(\sigma)$ для L_1

Результаты моделирования для модели Ибрагима-Парсонса и $f = 450$ МГц, отражающие зависимость $V(N_{MS}, \sigma)$, приведены на рисунке 5, дающем общее представление о характере зависимости.

По аналогии с рассмотренной выше моделью Окумура-Хата для более полного анализа моделирования для идентифицируемой модели ослабления Ибрагима-Парсонса приведены графики на рисунке 6, где значения $V(\sigma)$ для $f = 450$ МГц приведены в верхней части рисунка, и для $f = 900$ МГц – в нижней.

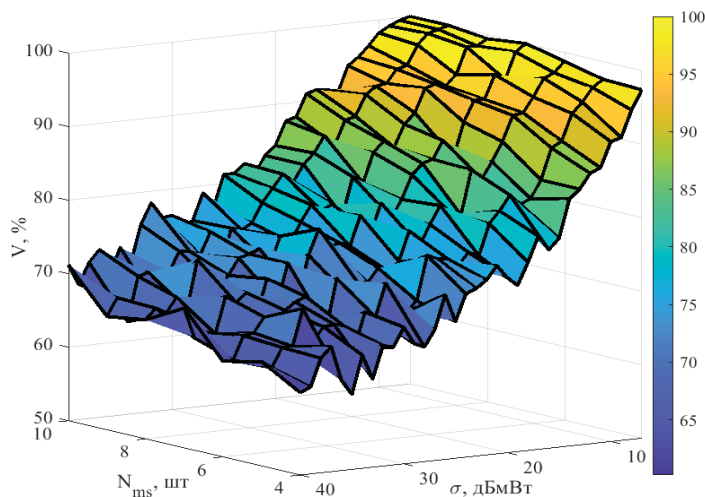


Рис. 5. Результаты моделирования $V(N_{MS}, \sigma)$ для L_2

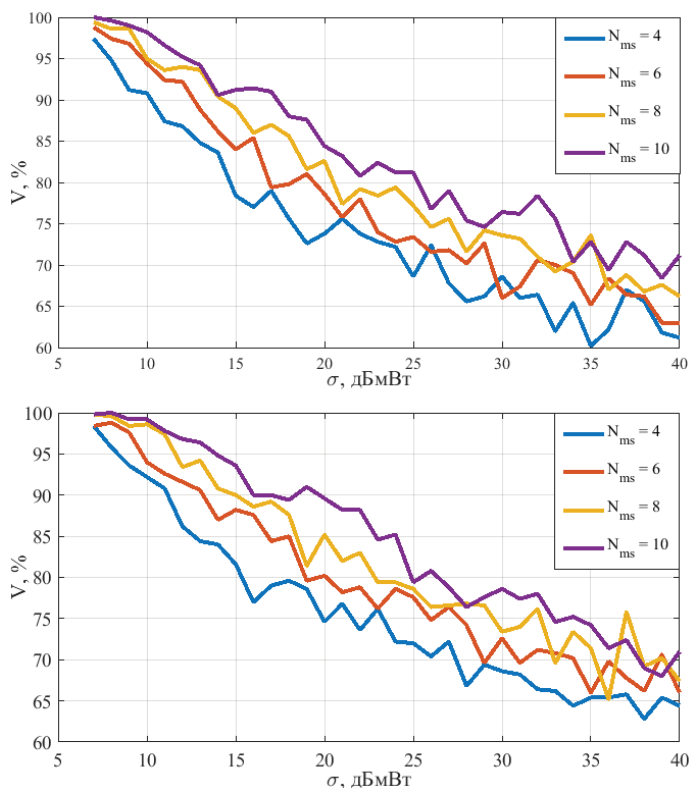


Рис. 6. Результаты моделирования $V(\sigma)$ для L_2

Рисунки 5 и 6 позволяют увидеть, что модель Ибрагима-Парсонса верно идентифицируется с помощью предложенного подхода при более существенном уровне шумов, чем модель Окумура-Хата, что объясняет рисунок 1.

Заключение

В работе приведены некоторые результаты исследований по идентификации моделей ослабления при распространении радиоволн на урбанизированной территории, предложенны подход к идентификации моделей, а также алгоритм, реализующий предложенный подход.

В качестве продолжения исследований предполагаются следующие направления: исследование эффективности введения в рассмотрение октаэдрической нормы, варьирование типом канала и данными о рельефе и урбанизации, формирование метода идентификации на основе предложенного подхода и анализа результатов рассмотрения различных норм, а также формирование алгоритма автоматического формирования новых моделей для заполнения наборов N_L .

Литература

1. Report ITU-R SM.2152. Definitions of Software Defined Radio (SDR) and Cognitive Radio System (CRS). Geneva, International Telecommunication Union, 2009. [Электронный ресурс]. URL: http://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-SM.2152-2009-PDF-R.pdf (дата обращения: 02.02.2022).
2. Головской В.А. Принципы создания базы знаний конфликтно-устойчивой системы передачи данных робототехнических комплексов военного назначения // Информационная безопасность – актуальная проблема современности. Совершенствование образовательных технологий подготовки специалистов в области информационной безопасности. 2020. Т.1, № 2-1 (13). С. 46-51.
3. Жожикашвили А.В. Категорная технология создания и развития интеллектуальных систем, основанных на знании // Информационные процессы. 2016. Т. 16, № 4. С. 312-332.
4. Saunders S.R., Aragon-Zavala A. Antennas and propagation for wireless communication systems. Chichester: John Wiley & Sons Ltd. 2007, 546 p.
5. Surajudeen-Bakinde N.T., Faruk N., Popoola S.I., Salman M.A., Oloyede A.A., Olawoyin L.A., Calafate C.T. Path loss predictions for multi-transmitter radio propagation in VHF bands using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System // Engineering Science and Technology, an International Journal. 2018. №21, pp. 679-691.
6. Дворников С.В., Балыков А.А., Котов А.А. Упрощенная модель расчета потерь сигнала в радиолинии, полученная путем сравнения квадратичной формулы Введенского с существующими эмпирическими моделями // Системы управления, связи и безопасности. 2019, № 2. С. 87-99.
7. Zhang K., Li B., Tang X., Wang D., Wei L. Path loss measurement and modeling for industrial environment // IEEE 20th International Conference on High Performance Switching and Routing (HPSR), 2019, pp. 1-5.
8. Erunkulu O.O., Zungeru A.M., Lebekwe C.K., Chuma J.M. Cellular Communications Coverage Prediction Techniques: A Survey and Comparison // IEEE Access. 2020, vol. 8, pp. 113052-113077.
9. Aung S.M.Y., Pattanaik K.K. Path loss measurement for wireless communication in industrial environments // International Conference on Computer Science, Engineering and Applications (ICCSEA), 2020, pp. 1-5.
10. Ahmadi H., Ambroziak S.J., Anton-Haro C., Bajic D., Balan T.C. et al. Inclusive Radio Communications for 5G and Beyond. Edited by C. Oestges, F. Quitin. Academic Press, 2021. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820581-5.00005-5> (дата обращения: 20.09.2022).



11. Бульчев Ю.Г., Мозоль А.А., Головской В.А. Оценка дисперсии ослабления радиосигнала в системах подвижной радиосвязи // Радиотехника. 2016, №3. С. 23-27.
12. Handbook on National Spectrum Management. Geneva: ITU, 2015. URL: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-21-2015-PDF-E.pdf. (дата обращения: 02.09.2022).
13. Мозоль А.А., Головской В.А. Полуэмпирический способ определения зоны покрытия базовой станции системы подвижной радиосвязи // Вестник Воронежского института МВД России. 2014, №3. С. 30-40.
14. Hata M. Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services // IEEE Transactions on Vehicular Technology. 1980, vol.29, № 3, pp. 317-325.
15. Recommendation ITU-R P.1546-6. Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 4 000 MHz. Geneva: ITU, 2019. URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1546-6-201908-I!!PDF-E.pdf (дата обращения: 20.08.2022).
16. Кульшиев С.Ю., Кульшиева Л.М., Милуша М.В. Идентификация математической модели при наличии неизмеряемых внешних воздействий на моделируемый объект // Дифференциальные уравнения и процессы управления. 2018, № 3. С. 123-140.
17. Головской В.А., Завальцев М.Ю. Программа идентификации модели распространения радиоволн для когнитивных радиосистем Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2022618092, 28.04.2022. Заявка № 2022617559 от 28.04.2022.
18. Аткишкин С. Ф. Модель приемника оперативного измерения частоты с предварительным умножением частоты и дополнительным каналом на основе нелинейных параметров рассеяния // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Т. 15. № 3. С. 40-49. DOI 10.3 4/2072-8735-2021-15-3-40-49. EDN WKKFEC.
19. Дворников С. В., Марков Е. В., Маноши Э. А. Повышение помехозащищенности передач декаметровых радиоканалов в условиях непреднамеренных помех // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Т. 15. № 6. С. 4-9. DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-6-4-9. EDN KHPWMU.
20. Dovbnya V. G., Koptev D. S., Babanin I. G., Knyazev A. A. Evaluation of the influence of the value of the dynamic range of the radio receiver on the noise immunity of receiving signals with quadrature amplitude modulation // T-Comm. 2021. Vol. 15. No. 6. P. 65-69. DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-6-65-69. EDN QZSTBS.
21. Yaushev S. T., Faizullin R. R., Lerner I. M. Quasi-determined algorithm for resolution of randomly fluctuating signals and chaotic pulse interference // T-Comm. 2020. Vol. 14. No 2. P. 39-44. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-2-39-44. EDN ZAWIJB.
22. Буров Р. И., Гревцев А. И., Илларионов Б. В. Комплексная модель тракта ретрансляции диагно-стирующих сигналов при радиоконтроле линий спутниковой связи // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Т. 14. № 4. С. 4-14. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-4-4-14. EDN PWPSNR.

ON THE IDENTIFICATION OF THE ATTENUATION MODEL IN THE PROPAGATION OF RADIO WAVES

VASILIIY A. GOLOVSKOY
Rostov-on-Don, Russia

ABSTRACT

Introduction. The present technological order is characterized by the increasing role of intellectualized technologies in various spheres of society. One of these technologies is described by the concept of cognitive radio. One of the distinguishing features of this technology is the declared ability to gain knowledge about its operating environment, dynamically and autonomously adjust its operational parameters and protocols according to the knowledge gained, and also allow the system to learn based on the results obtained. **Methods:** The paper presents the developed approach to the identification of the attenuation model during the propagation of radio waves in an urbanized area. Identification in this case means the definition of a specific attenuation model from the available descriptions of a set of models that most fully describes the conditions for the propagation of radio waves in the territory under consideration. To verify the proposed analytical apparatus, a cor-

KEYWORDS: radio wave propagation, identification, coverage area, attenuation model, empirical model, cognitive radio, radio system.

responding algorithm has been developed and its software implementation has been carried out using the Python programming language. The results of the conducted modeling are presented for the identification of semi-empirical models of attenuation of Okumu-ra-Hat and Ibrahim-Parsons, which are most often used in practice to describe the conditions of propagation of radio waves. **Research results:** The proposed approach can be used in cognitive radio systems for the formation of knowledge about the operating environment and subsequent correction of this knowledge. Knowledge in this case, in accordance with the adopted production approach, is understood as data that allows to effectively obtain a solution to the task. The hypothesis is formulated that: attenuation models allow describing the terrain with a quality sufficient for the formation of cognitive radio system of knowledge about its operating environment.

REFERENCES

1. Report ITU-R SM.2152. Definitions of Software Defined Radio (SDR) and Cognitive Radio System (CRS). Geneva, International Telecommunication Union, 2009. URL: http://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-SM.2152-2009-PDF-R.pdf (date of access: 02.02.2022).
2. V.A. Golovskoy (2020). Principles of creating a knowledge base of a conflict-resistant data transmission system of robotic complexes for military purposes. *Information security – an actual problem of modernity. Improvement of educational technologies for training specialists in the field of information security*. Vol.1, no. 2-1 (13), pp. 46-51.
3. A.V. Zhozhikashvili (2016). Category-Theoretic Technology of Creation and Development of Knowledge-Based Intelligent Systems. *Information processes*. Vol. 16, no. 4, pp. 312-332.
4. S.R. Saunders, A. Aragon-Zavala (2007). Antennas and propagation for wireless communication systems. Chichester: John Wiley & Sons Ltd. 546 p.
5. N.T. Surajudeen-Bakinde, N. Faruk, S.I. Popoola, M.A. Salman, A.A. Oloyede, L.A. Olawoyin, C.T. Calafate (2018). Path loss predictions for multi-transmitter radio propagation in VHF bands using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System. *Engineering Science and Technology, an International Journal*. No. 21, pp. 679-691.
6. S.V. Dvornikov, A.A. Balykov, A.A. Kotov (2019). The simplified model for radio signal path loss computation, which was developed by comparing the Vvedensky quadratic equation with existing empirical models. *Systems of Control, Communication and Security*, no. 2, pp. 87-99.
7. K. Zhang, B. Li, X. Tang, D. Wang, L. Wei (2019). Path loss measurement and modeling for industrial environment. *IEEE 20th International Conference on High Performance Switching and Routing (HPSR)*, pp. 1-5.
8. O.O. Erunkulu, A.M. Zungeru, C.K. Lebekwe, J.M. Chuma (2020). Cellular Communications Coverage Prediction Techniques: A Survey and Comparison. *IEEE Access*. Vol. 8, pp. 113052-113077.
9. S.M.Y. Aung, K.K. Pattanaik (2020). Path loss measurement for wireless communication in industrial environments. *International Conference on Computer Science, Engineering and Applications (ICCSEA)*, pp. 1-5.
10. H. Ahmadi, S.J. Ambroziak, C. Anton-Haro, D. Bajic, T.C. Balan, et al. (2021). Academic Press. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820581-5.00005-5> (date of access: 20.09.2022).
11. Yu.G. Bulychev, A.A. Mozol, V.A. Golovskoy (2016). Radio signal attenuation variance estimate in mobile radio communication systems. *Radioengineering*. No.3, pp. 23-27.
12. Handbook on National Spectrum Management. Geneva: ITU, 2015. URL: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-21-2015-PDF-E.pdf. (date of access: 02.09.2022).
13. A.A. Mozol, V.A. Golovskoy (2014). Semi-empirical method for determining mobile radio system base station's cover zone. *Vestnik of Voronezh institute of the ministry of interior of Russia*. No.3, pp. 30-40.
14. M. Hata (1980). Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. Vol.29, no. 3, pp. 317-325.
15. Recommendation ITU-R P.1546-6. Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 4 000 MHz. Geneva: ITU, 2019. URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1546-6-201908-!!!PDF-E.pdf (date of access: 20.08.2022).
16. S.Yu. Kultyshev, L.M. Kultysheva, M.V. Milyusha (2018). Identification of the mathematical model of a real object in the presence of immeasurable external action. *Differential equations and control processes*. No. 3, pp. 123-140.
17. V.A. Golovskoy, M.Y. Zavaltsev (2022). Program for Identification of the radio wave propagation model for cognitive radio systems. Certificate of registration of the computer program 2022618092, 28.04.2022. Application № 2022617559, 28.04.2022.
18. S.F. Atkishkin (2021). Model of a receiver for operational frequency measurement with frequency premultiplication and an additional channel based on nonlinear scattering parameters. *T-Comm*. Vol. 15. No. 3, pp. 40-49. DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-3-40-49.
19. S.V. Dvornikov, E.V. Markov, E.A. Manoshi (2021). Improving the noise immunity of decimeter radio channel transmissions under conditions of unintentional interference. *T-Comm*. Vol. 15. No. 6, pp. 4-9. DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-6-4-9.
20. V.G. Dovbnya, D.S. Koptev, I.G. Babanin, A.A. Knyazev (2021). Evaluation of the influence of the value of the dynamic range of the radio receiver on the noise immunity of receiving signals with quadrature amplitude modulation. *T-Comm*. Vol. 15. No. 6, pp. 65-69. DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-6-65-69.
21. S.T. Yaushev, R.R. Faizullin, I.M. Lerner (2020). Quasi-determined algorithm for resolution of randomly fluctuating signals and chaotic pulse interference. *T-Comm*. Vol. 14. No. 2, pp. 39-44. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-2-39-44.
22. R. I. Burov, A. I. Grevtsev, B. V. Illarionov (2020). A complex model of the path for retransmission of diagnostic signals in the radio monitoring of satellite communication lines. *T-Comm*. Vol. 14. No. 4, pp. 4-14. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-4-4-14.

INFORMATION ABOUT AUTHOR:

Vasily A. Golovskoy, Senior researcher at the Department of research and innovation development, Candidate of technical sciences, associate professor, North Caucasus branch of Moscow Technical University of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

For citation: Golovskoy V.A. On the identification of the attenuation model in the propagation of radio waves. *H&ES Reserch*. 2022. Vol. 14. No 5. P. 38-44. doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-5-38-44 (In Rus)



doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-5-45-52

ПРЕЦИЗИОННАЯ ЛАБОРАТОРНАЯ ПЕЧЬ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОЧАСТИЦ С СИСТЕМОЙ ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ И ОБЛАЧНЫМ МОНИТОРИНГОМ

ЛУКЬЯНОВ**Александр Дмитриевич¹****АЗНАБАЕВ****Марат Игоревич²****ПЛЕХАНОВА****Елизавета Валерьевна³****КАПИТАНОВА****Ирина Романовна⁴****ПЛЕХАНОВА****Татьяна Георгиевна⁵****Сведения об авторах:**

¹ Заведующий кафедрой "Автоматизация производственных процессов", Донского государственного технического университета, к.т.н., доцент

² Студент бакалавриата по направлению "Автоматизация технологических процессов и производств" Донского государственного технического университета

³ к.х.н., доцент кафедры "Химия" Донского государственного технического университета

⁴ Студент бакалавриата по направлению "Наноинженерия" Донского государственного технического университета

⁵ к.э.н., доцент каф. "Экономика и управление" Шахтинского автодорожного института (филиала) Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) М.И. Платова

АННОТАЦИЯ

Введение. Соблюдение точных и корректных условий проведения экспериментов по химическому синтезу является основой для получения качественного продукта. Поддержание стабильной температуры в реакционной зоне, по этой причине, является одним из важнейших параметров качества применения наночастиц металлов являются их размер, форма, структура, стабильность и др. Комплекс указанных свойств наночастиц зависит прежде всего от способа получения. **Методы:** Представлена разработка прецизионной реакционной печи с микропроцессорной системой управления на основе микроконтроллера класса IoT ESP-8266 и термодпары типа К. Обеспечивается поддержание температуры в горне печи в диапазоне от 50 до 350 °С с точностью до 1%. Обеспечивается компенсация температуры холодного спада термодпары. Для повышения точности управления и настройки параметров регулятора используется эталонная математическая модель. **Результаты исследования:** разработана процедура идентификации параметров эталонной модели с помощью МНК. Настройки регулятора исключают возникновение перерегулирования или колебаний в переходном процессе. Реализован режим мониторинга температуры и текущей мощности нагревателя с визуализацией и журналированием телеметрических данных в облачный сервис (Телеграм бот). Мобильное приложение, реализованное на смартфоне, позволяет дистанционно получать данные о температуре и управлять режимами работы печи. Длительность эксперимента актуально не ограничена, непрерывная работа печи испытана на интервале в 24 часа. Для высоких температур, с целью сохранности тигля, реализован режим автоматического ступенчатого нагрева и охлаждения. Печь позволяет проводить химические реакции при высоких температурах в режимах стабилизации или программного управления, в том числе – реакции разложения или синтез наночастиц из меди и других металлов.

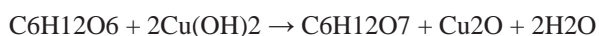
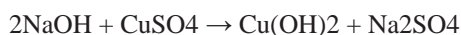
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: прецизионная печь, наночастицы, управление, моделирование, облачный мониторинг, микроконтроллер.

Для цитирования: Лукьянов А.Д., Азнабаев М.И., Плеханова Е.В., Капитанова И.Р., Плеханова Т.Г. Прецизионная лабораторная печь для получения наночастиц с системой программного управления и облачным мониторингом // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2022. Т. 14. № 5. С. 45-52. doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-5-45-52

Введение

Соблюдение точных и корректных условий проведения экспериментов по химическому синтезу является основой для получения качественного продукта. Поддержание стабильной температуры в реакционной зоне, по этой причине, является одним из важнейших параметров качества применения наночастиц металлов являются их размер, форма, структура, стабильность и др. Комплекс указанных свойств наночастиц зависит прежде всего от способа получения.

В последнее время большой интерес проявляется к разработке методов синтеза и изучению свойств наночастиц оксида меди(I). Связано это с тем, что наночастицы оксида меди(I) находят применение в катализе, оптических, сенсорных и электронных устройствах, они способны также повысить не только прочность лакокрасочных покрытий, но и увеличить их электро- и теплопроводность [1]. Ограничениями, с которыми сталкиваются при производстве нанопорошка оксида меди(I), являются чувствительность к водной среде и воздуху. Метод химического восстановления для синтеза нанопорошка меди является самым простым, простым и наиболее часто используемым. Обычно его проводят в водных средах с использованием солей меди в качестве источника меди и восстановителей, таких как бор гидрид натрия, гидразин, аскорбиновая кислота, и глюкозы при нагревании [2]:



Размеры получаемых частиц оксида меди (I) напрямую зависят от температуры, при которой проходит эксперимент. При повышении температуры реакции средний диаметр медных наночастиц увеличивается. Укрупнение частиц происходит, вероятно, вследствие ускорения процесса агломерации по мере увеличения температуры. Кроме того, при высоких температурах образуются частицы большего диаметра, которые меньше окисляются по сравнению с более дисперсными частицами.

Другой пример - низкотемпературный синтез УНТ методом каталитического пиролиза ацетилена, который проводится в присутствии частиц Fe при 550 °С. Снижение температуры синтеза имеет негативные последствия. При более низких температурах получают УНТ с большим диаметром (около 100 нм) и сильно дефектной структурой типа «бамбук» или «вложенные наноконусы».

Синтез наночастиц проводится в большинстве случаев на границе раздела фаз, поэтому на размер и состав частиц будут оказывать влияние состав жидкой фазы, температура, степень сжатия. Контроль всех этих факторов – сложная задача, что может привести к отклонению состава и свойств частиц от заданных значений [3]. Несоблюдение температурного режима синтеза может приводить к тому, что полученные наночастицы имеют малый размер, вследствие чего обладают слабой намагниченностью или проводимостью, или обладают параметрами, превышающими наноразмерный диапазон и склонны к агломерации. Поэтому контроль тем-

пературы к реакционной среде является необходимым условием синтеза наночастиц.

Использование лабораторных горелок или других «открытых» источников нагрева, не обеспечивающих стабильной температуры в объеме реакции, может приводить, и приводит к вышеперечисленным проблемам. Тем привлекательнее становится использование в лабораторной, в том числе – учебной практике, малогабаритных электрических печей с микроконтроллерным управлением, обеспечивающим точное поддержание условий реакции. Подобные печи также могут применяться при синтезе наночастиц различных металлов и их оксидов.

Научных публикаций, посвящённых именно разработке прецизионных лабораторных печей, в больших количествах найти не удалось. Однако, есть множество научных статей, так или иначе упоминается научное оборудование, обеспечивающее стабильную температуру в зоне реакции в течение значимых интервалов времени. В работе [4] используется лабораторная печь, обеспечивающая температуру 85°С в течение 120 часов, и 95°С в течение 72 часов для исследования процессов старения покрытий. В работе [5] используется лабораторная печь с температурой нагрева 80°С для сушки ксерогелей на основе $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ и NiO. Работа [6] посвящена получению наночастиц, и исследованию их деколоризации при контролируемом температурном воздействии. В работе [7] описывается лабораторный синтез наночастиц $\alpha\text{-MnO}_2$ при температуре 100°С в специальной вращающейся печи. В работе [8] лабораторная печь с температурами 145, 165, и 185 °С используется для изучения термомодифицированной буковой древесины. Все это подчеркивает широкую востребованность лабораторных печей в исследовательской среде.

Большое значение имеет также уверенность экспериментатора в том, что синтез проводился при заданных параметрах, что температура не выходила за допустимые пределы и т.д. Это достигается за счет мониторинга и журналирования телеметрической информации, с целью дальнейшего анализа. Вышеизложенное, а также консультации с учеными кафедры «Химия» ДГТУ, позволили сформулировать цель работы, и технические требования к разрабатываемому оборудованию.

В том случае, если синтез производится при постоянной температуре, характеристики переходного процесса в печи по температуре имеют вторичное значение, поскольку возможно начать эксперимент после окончания переходного процесса, а осуществлять выключение печи – после окончания синтеза и извлечения веществ из горна. Однако, в том случае, если синтез идеи многостадийно, и на разных стадиях необходимо обеспечивать разные температуры, форма переходного процесса становится важной, в первую очередь – по критерию отсутствия перерегулирования и колебательности. В силу специфики конструкции печи, имеющей значительную постоянную времени, необходимо аккуратная идентификация модели сети, и дальнейшей настройки регулятора. В противном случае, добиться отсутствия колебаний практически невозможно.

Целью представленной работы является обеспечение заданного значения и качественного регулирования температуры проведения химического синтеза при лабораторных экспериментах, обеспечение мониторинга и управления процессом синтеза с использованием эргономичных дистанционных (облачных) технологий.

Для достижения поставленной цели в работе должны быть решены следующие задачи:

- разработка и изготовление макета прецизионной лабораторной печи и системы микропроцессорного управления температурой внутри горна;
- разработка математической модели прецизионной лабораторной печи и идентификация ее параметров на основе экспериментальных исследований;
- настройка, на основании идентифицированной модели, цифрового регулятора температуры внутри горна, реализованного на современном микроконтроллере;
- разработка системы сбора, визуализации и сохранения телеметрической информации, на основе мобильного приложения и облачного сервиса.

Для макета печи были сформулированы следующие технические требования:

- печь должна обеспечивать нагрев объема внутри горна в диапазоне температур от +50 до +350 °С;
- погрешность поддержания температуры должна составлять не более 1% от заданной величины;
- длительность эксперимента может задаваться в диапазоне от – 30 минут до 48 часов с дискретностью 10 минут;
- при нагревании до высокой температуры (выше 100 градусов) могут использоваться алгоритмы ступенчатого нагрева и охлаждения горна, при этом после достижения заданной температуры в Приложение выводится информационное сообщение, и звучит звуковой сигнал;
- за всё время эксперимента должна сохраняться телеметрическая информация, в виде отдельного файла.

Материалы и методы

Макет прецизионной лабораторной печи разработан с использованием бытовой электроплитки мощностью 1000 Вт и рассчитанной на использование в сети переменного тока 220 В 50 Гц. В качестве горна использован керамический горшок, обеспечивающий как достаточный объем для размещения тиглей или пробирок, так и термостойкость и возможность обработки механическим инструментом, для выполнения отверстий под пробирки и измерительный датчик. Внешний вид собранного макета прецизионной печи и системы управления приведен на рисунке 1.

Система микроконтроллерного управления создана на базе однокристального микроконтроллера серии ESP-8266 [4] в формате платы NodeMCU 12E [5]. Это современный микроконтроллер класса IoT (Интернет вещей), способный не только обеспечить управление температурой внутри горна, но и, за счет встроенного WiFi модуля, обеспечить интерфейс с облачным сервисом, в том числе – передачу телеметрической информации и прием команд.

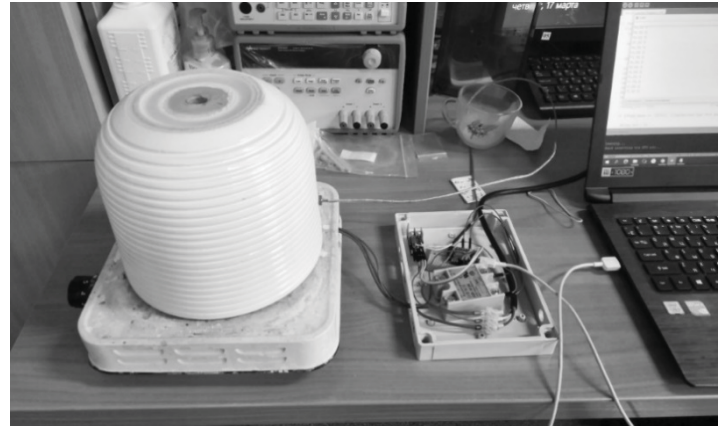


Рис. 1. Внешний вид макета лабораторной печи

Для измерения температуры внутри горна используется термопара типа К [6], подключенная, для повышения точности измерений, к специализированному измерительному преобразователю MAX6675 [7], обеспечивающему линейаризацию характеристики термопары, дискретность измерения температуры 0.25 °С в диапазоне от 0 до 1024 °С, и разгружающему микроконтроллер от непосредственного проведения измерений.

Управление электрическим нагревателем осуществляется с помощью твердотельного (симисторного) реле типа SSR10DA [8] с возможностью цифрового включения и выключения. Диапазон управляющего напряжения (3-32 В) позволяет использовать его с выбранным микроконтроллером, использующим напряжение 3.3 В. Структура макета системы управления приведена на рисунке 2. Для звуковой и световой сигнализации о работе печи в схему включены светодиод и звуковой извещатель, а также миниатюрная клавиатура, для локального управления.

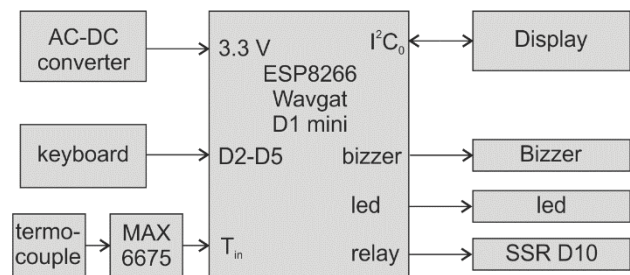


Рис. 2. Структура макета системы управления

Алгоритм управления температурой внутри горна печи осуществляется с помощью цифрового ПИД регулятора, программно реализованного на микроконтроллере. За основу была взята библиотека GiverPID [9], разработанная Александром Гайвером. Для упрощения схемотехники системы управления, а также учитывая большую инерционность печи, постоянная времени которой составляет десятки минут, был выбран режим управления нагревателем по методу переключения через ноль (рис. 3).

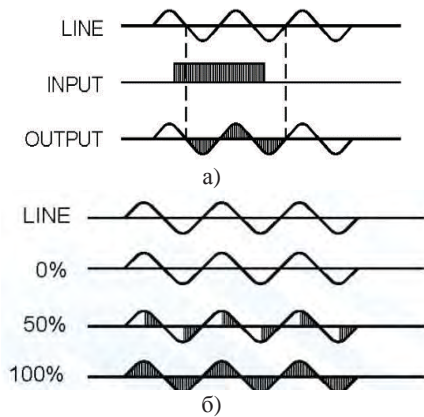


Рис. 3. Реализация режимов управления нагревателем. Импульсно-фазовое управление: а – управление по метод переключения через ноль – б

При реализации такого режима управления производится не каждую половину периода колебания напряжения в сети переменного тока, а каждую секунду, при делении секундного интервала на 50 частей. Это позволило существенно снизить требования к нагрузке на процессор, а также – снизить помехи, генерируемые при фазовом управлении. Для обеспечения качественного регулирования и своевременного переключения реле использовано аппаратное прерывание по таймеру на основе библиотеки Ticker [10], обеспечивающая достаточную точность реакции (порядка 100 мкс.).

Структура системы управления изображена на рисунке 4. Она разделена на «аналоговую» и «цифровую» части, согласно типам сигналов и процессов, протекающих в них.

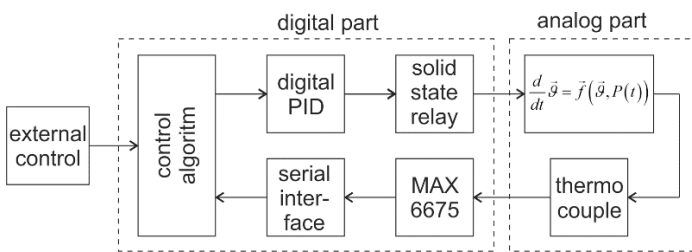


Рис. 4. Структура системы управления лабораторной печью

Математическая модель печи была разработана на основе метода накопителей и потоков в классе ОДУ. Система уравнений математической модели имеет вид (1):

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \vartheta_1 = \frac{1}{m_1 c_1} (P(u) - S_1 \lambda (\vartheta_1 - \vartheta_2) - S_1 \sigma \varepsilon (\vartheta_1^4 - \vartheta_2^4)) \\ \frac{d}{dt} \vartheta_2 = \frac{1}{m_2 c_2} (S_1 \lambda (\vartheta_1 - \vartheta_2) + S_1 \sigma \varepsilon (\vartheta_1^4 - \vartheta_2^4) - S_2 \lambda (\vartheta_2 - \vartheta_{ext}) - S_2 \sigma \varepsilon (\vartheta_2^4 - \vartheta_{ext}^4)) \end{cases} \quad (1)$$

В уравнениях (1) с индексом «1» включены параметры нагревателя, с индексом «2» – параметры горна, с индексом «ext» – температура окружающей среды. Параметры системы: m_1, m_2 – массы нагревателя и горна, c_1, c_2 – удельные теплоемкости нагревателя и горна, S_1, S_2 (площадь поверхностей нагревателя и горна, λ – коэффициент теплоотдачи, ε – излучательная способность – могут быть измерены, взяты

из справочника или оценены в процессе идентификации модели.

Для структуры модели оказался существенным и конвективный (пропорциональный первой степени температуры) и лучистый (пропорциональный четвертой степени температуры) способы передачи тепла, особенно при температурах горна выше 200 °С. Сбор данных осуществлялся с помощью разработанной системы сбора телеметрической информации, что послужило способом её тестирования.

После проведения тестовых экспериментов на макете лабораторной печи, параметры модели были идентифицированы с помощью метода наименьших квадратов для дискретного уравнения вида:

$$\vartheta_2 [i] = a_1 \vartheta_2 [i-1] + a_2 \vartheta_2 [i-2] + a_3 \vartheta_2^4 [i-1] + a_4 \vartheta_2^4 [i-1] + a_5 P [i] \quad (2)$$

Второй порядок уравнения регрессионного уравнения определяется неизмеримостью температуры θ_1 нагревателя. Изменением температуры окружающей среды за время эксперимента пренебрегаем.

Идентифицированная модель была использована для выбора параметров дискретного ПИД – регулятора с использование модуля «Nonlinear Control Design» пакета Matlab.

Мобильное приложение для управления печью обеспечивает двунаправленную связь с объектом управления по сети WiFi, получение, визуализацию и архивирование телеметрической информации, и передачу команд в управляющий микроконтроллер [17, 18].

Результаты и обсуждение

На первом этапе исследований печь с системой микроконтроллерного управления была испытана в разомкнутом режиме управления для оценки температур, которые достигаются при подаче на нагреватель управляющего воздействия со скажностью 0.2, 0.5, 0.75 и 1.0. При этом, также, оценивалась постоянная времени печи. На рисунке 5 показано включение печи на мощность 1000 Вт (скажность 1.0).

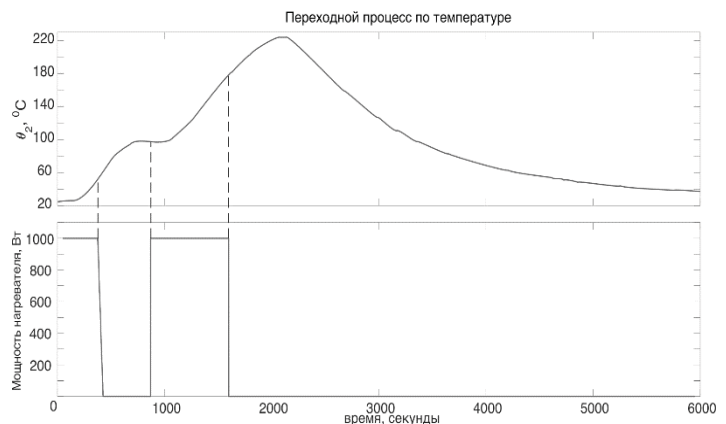


Рис. 5. Переходной процесс в печи с разомкнутым управлением

Управление при этом производилось непосредственно от компьютера, и телеметрические данные получались по последовательному каналу в программу «Монитор порта» среды программирования микроконтроллеров Arduino IDE [11]. Данные, полученные в «Мониторе порта», после окончания эксперимента сохранялись в текстовый файл в ASCII – кодировке, и обрабатывались в математическом пакета Matlab.

Поскольку печь представляет собой мощный, но инерционный объект, для исключения температурных перенапряжений в тигле нагрев осуществлялся в ступенчатом режиме.

Первый период нагрева, длительностью 390 секунд, разогрел печь до 100 °С, после чего нагреватель был отключен на 300 секунд для выравнивания температуры. На втором этапе нагрева печь была разогрета до 225 °С, на что потребовалось включение нагревателя на 850 секунд. После чего нагреватель был отключен, и печь остывала до комнатной температуры. Постоянная времени печи, таким образом, может быть оценена в 1200-1500 секунд.

На втором этапе испытаний были собраны экспериментальные телеметрические данные о зависимости температуры от времени и скважности управляющего воздействия, и проведена идентификация параметров модели. Результат идентификации параметров модели приведен на рисунке 6.

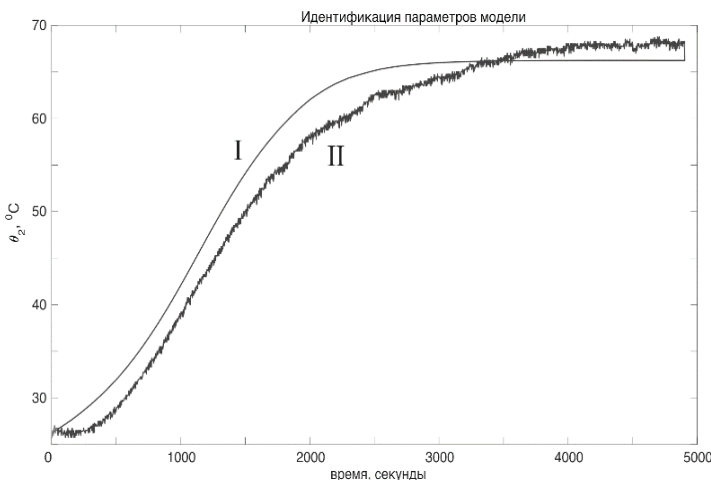


Рис. 6. результат идентификации параметров модели (1) с помощью разностного уравнения (2)

Гладкая линия (I) – модельный результат, линия с помехами (II) – экспериментальный результат. Оценка параметров модели (2) линейным методом наименьших квадратов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Оценки параметров модели (2)

параметры модели				
a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅
численные оценки				
0.579	0.423	5.32*10 ⁻⁸	-5.86*10 ⁻⁸	4.49*10 ⁻⁸

Из величины оценок видно, что влияние излучения на температуру, достигнутой в эксперименте (70 °С), невелико. Однако оно будет существенно при более высоких температурах.

Хотя расхождение между модельными и экспериментальными данными является более значительным, чем требуемая точность регулирования температуры, однако для оптимизации настройки параметров регулятора такая модель является достаточной. После настройки коэффициентов дискретного регулятора, и замыкания отрицательной обратной связи, отклонение измеряемой температуры от заданной не превышало 1%.

Интерфейс управления лабораторной печью реализован в виде трех вариантов: локальное управление с клавиатуры на корпусе системы управления, с помощью мобильного приложения, и с помощью телеграм-бота.

Мобильное приложение и телеграм-бот позволяют осуществлять удаленное управление и мониторинг процесса работы печи через сеть Интернет или облачный сервис, соответственно [19-21]. Кроме того, телеграм-бот обеспечивает журналирование информации о режимах работы печи. Телеметрическая информация может быть сохранена в файл в формате «машиночитаемый json» для дальнейшего анализа корректности условий проведения эксперимента. На рисунке 7 приведен пример скриншота экрана телеграм-бота мониторинга температуры печи.

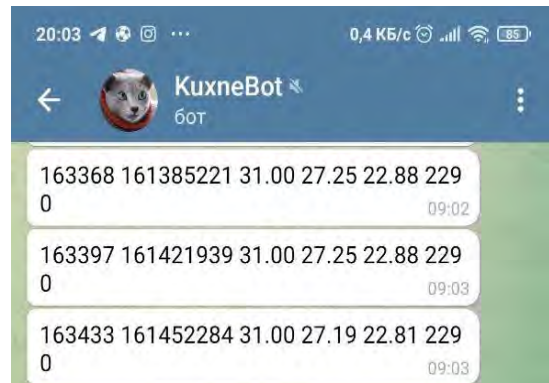


Рис. 7. Экран телеграм-бота управления работой лабораторной печи

На экране бота, в телеметрическом сообщении, последовательно идут: время в секундах работы печи с момента включения, время в секундах в формате UNIX-time, заданная температура °С, текущая температура в горне °С, температура в помещении °С, мощность нагревателя [Вт], бит включения реле нагревателя.

На рисунке 8 приведен внешний вид экрана мобильного приложения, позволяющего управлять работой лабораторной печи дистанционно через сеть WiFi. Приложение может использоваться на любом смартфоне под управлением ОС Android версии старше 9.0.



Рис. 8. Экран мобильного приложения для управления работой лабораторной печи

Заключение

На основе вышеизложенной информации можно утверждать, что все задачи, поставленные в работе успешно выполнены и цель работы – обеспечение заданной температуры проведения химического синтеза при лабораторных экспериментах, обеспечение мониторинга и управления процессом синтеза с использованием эргономичных дистанционных (облачных) технологий – достигнута.

За счет разработки и идентификации математической модели печи и проведения процедуры идентификации ее параметров, были определены параметры цифрового регулятора температуры, исключающие перерегулирование и колебательные процессы по температуре, не допустимые при многостадийном синтезе.

Разработанная прецизионная лабораторная печь для получения наночастиц с системой программного управления и облачным мониторингом полностью удовлетворяет выдвинутым техническим требованиям и может использоваться для проведения экспериментальных исследований.

Литература

1. *Auchynnika E.A., Vorobeva S.A.* Synthesis and properties of the copper nanoparticles, obtained by two-stage reduction // Вестник БГУ. Сер. 2. 2015. № 1.
2. *Zhu H., Zhang C., Yin Y.* Novel synthesis of copper nanoparticles: influence of the synthesis conditions on the particle size // Nanotechnology. 2005. Т. 16. №. 12. С. 3079.
3. *Yulia Shlapa, Sergii Solopan, Andrii Bodnaruk.* Effect of Synthesis Temperature on Structure and Magnetic Properties of (La,Nd)_{0.7}Sr_{0.3}MnO₃ // Nanoscale Research Letters. Vol.12, 2017.

4. *Salehi-Ashani Saeida, Tighe Susan.* Investigation of the Effects of Long-Term Aging and Testing Temperature Sensitivity on the Flexibility Index (FI) Parameter Obtained from the Illinois Flexibility Index Test (I-FIT) // Lecture Notes in Civil Engineering. Vol. 248, pp. 367-379, 2023. DOI 10.1007/978-981-19-1004-3_31

5. *Babaei Elahe, Bazyari Amin.* Effects of drying conditions on physicochemical properties of epoxide sol-gel derived α -Fe₂O₃ and NiO: A comparison between xerogels and aerogels // Ceramics International. Vol. 48, no. 22, pp. 33340-33349, 2022. DOI 10.1016/j.ceramint.2022.07.277

6. *Yasuda Hiroshia, Miyoshi Hirokazub.* Thermally Controllable Decolorization of Reusable Radiochromic Complex of Polyvinyl Alcohol, Iodine and Silica Nanoparticles (PAISiN) Irradiated with γ -rays // Applied Sciences (Switzerland). Vol. 12, no. 6, 2022. DOI 10.3390/app12062959

7. *Srivastava Vartikaa, Beg Mukarramb, Sharma Shivanjalib, Choubey Abhay Kumara.* Application of manganese oxide nanoparticles synthesized via green route for improved performance of water-based drilling fluids // Applied Nanoscience (Switzerland). Vol. 11, no. 8, pp. 2247-2260, 2021. DOI 10.1007/s13204-021-01956-8

8. *Bayani Siavasha, Taghiyari Hamid R., Papadopoulos Antonios N.* Physical and mechanical properties of thermally-modified beech wood impregnated with silver nano-suspension and their relationship with the crystallinity of cellulose // Polymers. Vol. 11, no. 101, 2019. DOI 10.3390/polym11101538

9. ESP8266EX Datasheet. Version 6.8. Espressif Systems. 2022. [Электронный ресурс] URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf.

10. NodeMCU Documentation. [Электронный ресурс] URL: <https://nodemcu.readthedocs.io/en/release/en/modules/tmr/>

11. Термопара типа К (ТХА). Характеристики. URL: <https://electro-nagrev.ru/catalog/materialy-dlya-nagrevatelynykh-elementov/termopary/termopara-tipa-k/>

12. MAX6675. Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C). Maxim Integrated. Rev.2, 4/14. URL: <https://www.rlocman.ru/datasheet/pdf.html?di=167953>

13. Fotek SSR Series. Solid State Relay. Guiding pf Model. URL: <https://datasheetspdf.com/pdf/789330/Fotek/SSR-10DA/1>

14. GyverPID – библиотека PID регулятора для Arduino. URL: <https://github.com/GyverLibs/GyverPID>

15. Arduino Ticker Library v4.x.x. URL: <https://github.com/sstaub/Ticker>

16. Arduino IDE users guide. URL: <https://www.manualslib.com/manual/1208079/Arduino-Uno.html?page=5#manual>.

17. *Елагин В. С., Спиркина А. В., Владыко А. Г. и др.* Основные сетевые характеристики Blockchain трафика и подходы к моделированию // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Т. 14. № 4. С. 39-45. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-4-39-45. EDN QWRMTMK.

18. *Кузнецов В. С., Волков А. С., Солодков А. В., Дорошенко В. А.* Разработка системы синхронизации на основе сложных широкополосных сигналов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Т. 14. № 5. С. 4-14. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-5-4-14. EDN LMLHRA.

19. *Токтошов Г. Ы., Юргенсон А. Н., Мигов Д. А.* О сложности задач оптимизации сетей инженерных коммуникаций // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Т. 14. № 9. С. 17-23. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-9-17-23. EDN NZUDES.

20. *Куприянов Д. О.* Математическое моделирование потока заявок к облачному вычислительному кластеру // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Т. 14. № 10. С. 39-44. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-10-39-44. EDN MWCXTC.

21. *Volkov A. O.* Evaluation of cloud computing cluster performance // Т-Comm. 2020. Vol. 14. No 12. P. 72-79. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-12-72-79. EDN PKDELQ.



A PRECISION LABORATORY FURNACE FOR PRODUCING NANOPARTICLES WITH A PROGRAM CONTROL SYSTEM AND CLOUD MONITORING

ALEXANDER D. LUKYANOV

Rostov-on-Don, Russia

MARAT I. AZNABAEV

Rostov-on-Don, Russia

ELIZAVETA V. PLEKHANOVA

Rostov-on-Don, Russia

IRINA R. KAPITANOVA

Rostov-on-Don, Russia

TATYANA G. PLEKHANOVA

Rostov-on-Don, Russia

KEYWORDS: *precision furnace, nanoparticles, control, modeling, cloud monitoring, microcontroller.*

ABSTRACT

Introduction: The development of a precision reaction furnace with a microprocessor control system based on an IoT class ESP-8266 microcontroller and a K-type thermocouple is presented. The temperature in the furnace hearth is maintained in the range from 50 to 350 °C with an accuracy of 1%. The temperature compensation of the cold junction of the thermocouple is provided. To improve the control accuracy and adjust the controller parameters, a reference mathematical model is used. **Methods:** a procedure for identifying the parameters of the reference model using the least squares has been developed. Regulator settings eliminate the occurrence of overshoot or fluctuations in the transient. A mode for monitoring the temperature and current power of

the heater with visualization and logging of telemetry data to the cloud service (Telegram bot) has been implemented.

Results: a mobile application implemented on a smart phone allows you to remotely receive temperature data and control the operating modes of the furnace. The duration of the experiment is actually not limited, the continuous operation of the furnace was tested on an interval of 24 hours. For high temperatures, in order to preserve the crucible, a mode of automatic stepwise heating and cooling is implemented. The furnace allows chemical reactions to be carried out at high temperatures in stabilization or program control modes, including decomposition reactions or the synthesis of nanoparticles from copper and other metals.

REFERENCES

1. E.A. Auchynnikava, S.A. Vorobeva (2015). Synthesis and properties of the copper nanoparticles, obtained by two-stage reduction. *Bulletin of BSU*. Vol. 2. No. 1.
2. H. Zhu, C. Zhang, Y. Yin (2005). Novel synthesis of copper nanoparticles: influence of the synthesis conditions on the particle size. *Nanotechnology*. Vol. 16. No. 12. P. 3079.
3. Yulia Shlapa, Sergii Solopan, Andrii Bodnaruk (2017). Effect of Synthesis Temperature on Structure and Magnetic Properties of (La,Nd)_{0.7}Sr_{0.3}MnO₃. *Nanoscale Research Letters*. Vol.12.
4. Salehi-Ashani Saeida, Tighe Susan (2023). Investigation of the Effects of Long-Term Aging and Testing Temperature Sensitivity on the Flexibility Index (FI) Parameter Obtained from the Illinois Flexibility Index Test (I-FIT). *Lecture Notes in Civil Engineering*. Vol. 248, pp. 367-379. DOI 10.1007/978-981-19-1004-3_31
5. Babaei Elahe, Bazyari Amin (2022). Effects of drying conditions on physicochemical properties of epoxide sol-gel derived α -Fe₂O₃ and NiO: A comparison between xerogels and aerogels // *Ceramics International* Vol. 48, no. 22, pp. 33340-3334915. DOI 10.1016/j.ceramint.2022.07.277
6. Yasuda Hiroshia, Miyoshi Hirokazub (2022). Thermally Controllable Decolorization of Reusable Radiochromic Complex of Polyvinyl Alcohol, Iodine and Silica Nanoparticles (PAISiN) Irradiated with γ -rays. *Applied Sciences* (Switzerland) Vol. 12, no. 6. DOI 10.3390/app12062959
7. Srivastava Vartikaa, Beg Mukarramb, Sharma Shivanjalib, Choubey Abhay Kumara (2021). Application of manganese oxide nanoparticles synthesized via green route for improved performance of water-based drilling fluids. *Applied Nanoscience* (Switzerland). Vol 11, no. 8, pp. 2247-2260. DOI 10.1007/s13204-021-01956-8
8. Bayani Siavasha, Taghiyari Hamid R. Papadopoulos Antonios N. (2019). Physical and mechanical properties of thermally-modified beech wood impregnated with silver nanosuspension and their relationship with the crystallinity of cellulose. *Polymers*. Vol. 11, no. 101. DOI 10.3390/polym11101538
9. ESP8266EX Datasheet. Version 6.8. Espressif Systems. 2022. URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf.
10. NodeMCU Documentation. URL: <https://nodemcu.readthedocs.io/en/release/en/modules/tmr/>

11. Thermocouple type K (ТХА). Characteristics. URL: <https://electro-nagrev.ru/catalog/materialy-dlya-nagrevatelnykh-elementov/termopary/termopara-tipa-k>.
12. MAX6675. Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-. to-Digital Converter (0°C to +1024°C). Maxim Integrated. Rev.2, 4/14. URL: <https://www.rlocman.ru/datasheet/pdf.html?di=167953>
13. Fotek SSR Series. Solid State Relay. Guiding pf Model. URL: <https://datasheetspdf.com/pdf/789330/Fotek/SSR-10DA/1>
14. GyverPID - Library for PID controller for Arduino. URL: <https://github.com/GyverLibs/GyverPID>.
15. Arduino Ticker Library v4.x.x. URL: <https://github.com/sstaub/Ticker>.
16. Arduino IDE users guide. // URL: <https://www.manual-slib.com/manual/1208079/Arduino-Uno.html?page=5#manual>
17. V. S. Elagin, A. V. Spirkina, A. G. Vladyko et al. (2020). Basic network characteristics of Blockchain traffic and approaches to modeling. *T-Comm*. Vol. 14. No. 4, pp. 39-45. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-4-39-45.
18. V. S. Kuznetsov, A. S. Volkov, A. V. Solodkov, V. A. Doroshenko (2020). Development of a synchronization system based on complex broadband signals. *T-Comm*. Vol. 14. No. 5, pp. 4-14. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-5-4-14.
19. G. Y. Toktoshov, A. N. Yurgenson, and D. A. Migov (2020). On the complexity of engineering communications network optimization problems. *T-Comm*. Vol. 14. No. 9, pp. 17-23. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-9-17-23.
20. D. O. Kupriyanov (2020). Mathematical modeling of the flow of applications to a cloud computing cluster. *T-Comm*. Vol. 14. No. 10, pp. 39-44. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-10-39-44.
21. A. O. Volkov (2020). Evaluation of cloud computing cluster performance. *T-Comm*. Vol. 14. No. 12, pp. 72-79. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-12-72-79.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Alexander D. Lukyanov, Head of the Department of Automation of Production Processes, Don State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Rostov-on-Don, Russia

Marat I. Aznabaev, bachelor's student in the direction of "Automation of technological processes and production" of the Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

Elizaveta V. Plekhanova, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemistry, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

Irina R. Kapitanova, undergraduate student in the direction of "Nanoengineering", Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

Tatyana G. Plekhanova, Candidate of Economics, Associate Professor of the Department "Economics and Management" of the Shakhty Road Institute (branch) of the South Russian State Polytechnic University (NPI) M.I. Platova, Rostov-on-Don, Russia

For citation: Lukyanov A.D., Aznabaev M.I., Plekhanova E.V., Kapitanova I.R., Plekhanova T.G. A precision laboratory furnace for producing nanoparticles with a program control system and cloud monitoring. *H&ES Reserch*. 2022. Vol. 14. No 5. P. 45-52. doi: 10.36724/2409-5419-2021-14-5-45-52 (In Rus)



doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-5-53-58

СТАБИЛЬНОСТЬ ЧАСТОТЫ ГЕНЕРАТОРОВ И ВЕРОЯТНОСТЬ БИТОВОЙ ОШИБКИ В СИСТЕМАХ РАДИОСВЯЗИ С M-KAM СИГНАЛАМИ

САФАРЬЯНОльга Александровна¹**АЛФЕРОВА**Ирина Александровна²**НАЙДЕНОВА**Юлия Игоревна³**РЕШЕТНИКОВА**Ирина Витальевна⁴

АННОТАЦИЯ

Введение. Основные направления совершенствования современных цифровых коммуникационных технологий – это поиск путей использования выделенные полосы частот, что будет эффективнее, т.е. позволит увеличить объемы передаваемых данных при усеньшении выделяемой полосы частот. Использование технологий уплотнения сигналов, таких как формирование QAM- и OFDM-сигналов обеспечивает уменьшить занимаемую полосу частот приблизительно до значения, равного скорости передачи символов. Вероятность битовой ошибки является одним из важнейших показателей эффективности системы связи. Вопросы, связанные с анализом вероятности битовой ошибки в зависимости от отношения сигнал/шум в канале связи получили фундаментальное и всестороннее рассмотрение. В то же время взаимосвязь вероятности битовой ошибки и стабильности частоты является менее исследованной. **Цель данной статьи** – анализ влияния постоянной и случайной составляющих отклонения частоты сигнала от номинального значения (расстройки частоты) на вероятность битовых ошибок. **Методы:** Рассмотрены вопросы развития цифровых технологий связи, их внедрение и развитие новых скоростных стандартов передачи данных, которые влекут за собой нахождении более эффективных способов использования выделенной полосы частот, что позволяет осуществлять передачу большего объема данных в более узкой полосе частот. Уменьшение требуемой полосы частот при заданной скорости передачи данных достигается за счет посылки большего количества битов при помощи одного символа. **Результаты исследования:** Решение данной задачи возможно осуществлением изменения амплитуды и фазы несущей между многими дискретными состояниями большого количества несущих частот с низкой канальной скоростью. На основании этого, в статье рассматриваются вопросы, связанные с представлением сигнала в канале связи с учётом возникновения флуктуаций амплитуды, частоты и фазы от номинальных значений. Сформулированы условия влияния постоянной и случайной составляющих отклонения частоты сигнала от номинального значения на вероятность битовой ошибки. Для реализации сформированных условий приведены результаты математического моделирования, подтверждающие правильность полученных теоретических результатов и основные отмеченные закономерности.

Сведения об авторах:

¹ Донской Государственный Технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

² Донской Государственный Технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

³ Донской Государственный Технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

⁴ Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО "Московский технический университет связи и информатики", г. Ростов-на-Дону, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: система одновременно и независимо работающих генераторов, синергичность, эмерджентность, гармонический сигнал, QAM-сигналы, стабильность частоты, оценка частоты, несмещенность и эффективность оценок.

Для цитирования: Сафарьян О.А., Алферова И.А., Найденкова Ю.И., Решетникова И.В. Стабильность частоты генераторов и вероятность битовой ошибки в системах радиосвязи с M-KAM сигналами // Научные исследования в космических исследованиях Земли. 2022. Т. 14. № 5. С. 53-58. doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-5-53-58

Введение

Стремительный рост и внедрение технологий цифровой связи, внедрение и развитие новых стандартов высокоскоростной передачи данных, таких как Wlan, DVB-C, DVB-T, MMDS, Bluetooth, за счет достаточно сложных способов цифровой модуляции – 64QAM, 256QAM, OFDM, заключается в нахождении более эффективного способа использования выделенной полосы частот. Основные направления совершенствования современных цифровых коммуникационных технологий – это поиск путей использования выделенные полосы частот, что будет эффективнее, т.е. позволит увеличить объемы передаваемых данных при уменьшении выделяемой полосы частот. Использование технологий уплотнения сигналов, таких как формирование QAM- и OFDM-сигналов обеспечивает уменьшить занимаемую полосу частот приблизительно до значения, равного скорости передачи символов [6, 9].

Чтобы решить данную задачу, частота и фаза несущей могут варьироваться между многими дискретными состояниями (это модуляция QAM с большими индексами – 64, 128, 256), многие частоты несущей могут использоваться для ортогонального мультиплексирования (OFDM) на низких скоростях канала. В частности, при QAM-модуляции нестабильность частоты генератора (фазовый шум при отклонениях менее 10 кГц) может привести к «размыванию» сигнального созвездия, увеличению ошибок при приеме и снижению производительности. Может ухудшиться качество связи [3-5].

Вероятность битовой ошибки является одним из важнейших показателей эффективности системы связи. Вопросы, связанные с анализом вероятности битовой ошибки в зависимости от отношения сигнал/шум в канале связи получили фундаментальное и всестороннее рассмотрение [7, 8]. В то же время взаимосвязь вероятности битовой ошибки и стабильности частоты является менее исследованной.

Целью данной статьи является анализ влияния постоянной и случайной составляющих отклонения частоты сигнала от номинального значения (расстройки частоты) на вероятность битовых ошибок.

Методы и результаты исследования

Проанализируем представление сигнала в канале связи, которое должно учитывать возникновение флуктуаций амплитуды, частоты и фазы от номинальных значений, определяемых требованиями к частоте несущей излучаемого сигнала, выделенной полосе частот и виду манипуляции параметров сигнала. С учетом отмеченных требований представим реальный сигнал в виде:

$$V(t) = [V_0 + \Delta V(t)] \cdot \cos[(\omega_0 + \Delta\omega(t)) \cdot t + \varphi_0 + \Delta\varphi(t)] + n_u(t), \quad (1)$$

где $\Delta V(t)$, $\Delta\omega(t)$, $\Delta\varphi(t)$ – соответственно флуктуации амплитуды, частоты и установки начальной фазы сигнала; $n_u(t)$ – аддитивный белый гауссовский шум.

При обработке сигналов в приемнике значение отношения сигнал/шум (ОСШ) будет определяться двумя группами факторов:

– первая группа факторов определяет уровень сигнала на выходе устройства обработки с заданным энергетическим параметром радиоканала.

– вторая группа факторов представляет мощность шумов на выходе устройства обработки.

Одним из факторов первой группы, определяющих на выходе устройства обработки уровень сигнала и соответственно ОСШ, а, в конечном итоге, целевыми характеристиками систем связи, является долговременная нестабильность генераторов передающих и приемных устройств в каналах связи. Прежде всего, необходимо отметить, что отклонение амплитуды сигнала от номинального значения практически не приводит к изменению вероятности битовой ошибки для широко используемых в современных системах связи QAM- и OFDM-сигналов. Это связано с тем, что флуктуации амплитуды на указанные сигналы практически не влияют, так как не приводят к изменению взаимного положения точек в сигнальном созвездии.

Наибольшее влияние на вероятность битовой ошибки, в первую очередь, оказывает нарушение частотно-временных параметров (ЧВП) сигналов, таких как начальная фаза в каждой битовой посылке QAM-сигналов и расстройка частот поднесущих передатчика и приемника, приводящая к нарушению условия ортогональности отдельных поднесущих для OFDM-сигналов.

Наличие долговременной нестабильности ЧВП приводит к появлению медленно изменяющегося отклонения частоты передаваемого сигнала и частоты гетеродина на приемной стороне радиоканала. Следствием возникающего рассогласования частот является снижение выходного сигнала – автокорреляционной функции (АКФ) при корреляционной обработке. Необходимо отметить, что связанное с долговременной нестабильностью отклонение частоты принимаемого и/или опорного сигналов от номинальных значений проявляется в виде:

– непосредственного рассогласования частот принимаемого и опорного сигналов без учета возможной частичной их рассинхронизации на входе приемного устройства;

– частичной рассинхронизации приемного и опорного сигналов на входе приемного устройства, обусловленной несовпадением их частот.

Количественные оценки влияния первого фактора могут быть показаны на примере обработки широкополосных сигналов (ШПС) [1]. Отметим, что обеспечение высоких значений ОСШ для ШПС в радиотехнических системах потенциально связано с большой базой таких сигналов.

Нестабильность частоты сигналов, формируемых при корреляционной обработке генераторами передатчика и приемника, приводит к изменению АКФ ШПС, вследствие чего уровень главного пика АКФ уменьшается

$$|R(0, \Delta\omega)| = \frac{\sin(\Delta\omega \cdot T/2)}{\Delta\omega \cdot T/2}, \quad (2)$$

где T – длительность ШПС.

В соответствии с соотношением (2) можно говорить не только о влиянии отклонения частоты сигнала, а формулировать зависимость в более общем виде как отклонение частотно-временных параметров сигнала от номинальных значений.

В диапазоне значений нормированной АКФ не ниже 0,75, уравнение (2) может быть представлено более простой зависимостью следующим образом:

$$|R(0, \Delta\omega)| = 1 - (\Delta\omega \cdot T/2)^2 / 6. \quad (3)$$

На рисунке 1 представлена зависимости (2) и (3) при длительности импульса $T = 10^{-3}$ с.

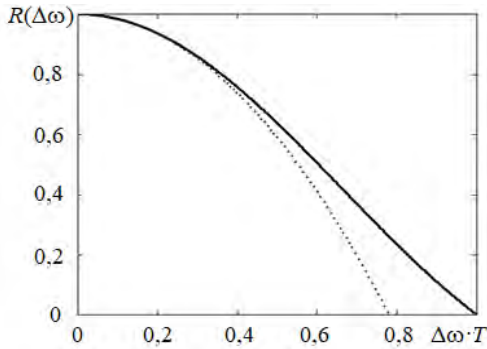


Рис. 1. Представление зависимости нормированной АКФ ШПС: зависимость (1.2) – сплошная линия; зависимость (1.3) – штриховая линия

Представление АКФ в форме (3), как следует из приведенных данных, справедливо при следующем условии $|\Delta\omega T/2| \leq 0,4$, которое определяет снижение уровня нормированной АКФ до значения 0,75. Полученная зависимость вида (3) имеет простой вид, что позволяет установить взаимосвязь в аналитической форме между допустимым отклонением частоты сигнала и допустимым уменьшением уровня сигнала на выходе устройства корреляционной обработки

$$\frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{2\sqrt{6(1-R)} \cdot F}{B \cdot \omega_0} \quad (5)$$

где R_T – скорость передачи двоичных символов; F – ширина спектра сигнала.

На рисунке 2 представлен график обратной функции, определяющей зависимость допустимого относительного отклонения частотно-временного параметра импульса посылки ШПС от величины допустимого снижения уровня нормированной АКФ.

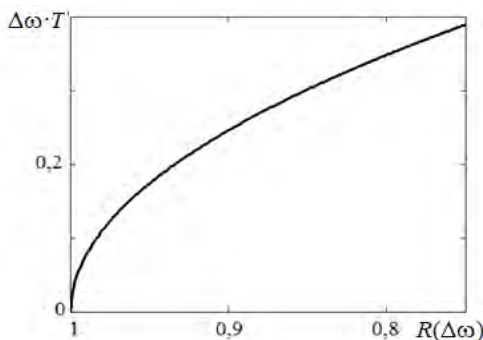


Рис. 2. Зависимость допустимого относительного отклонения частотно-временных параметров ШПС от величины допустимого снижения нормированной АКФ

В частности, для случая передаваемого сигнала с параметрами: частота несущей $\omega_0 = 2\pi \cdot 10^{10}$ рад/с; ширина спектра сигнала $F = 20$ МГц; база сигнала $B = 2 \cdot 10^4$, при допустимом снижении уровня АКФ до 0,89 (снижение уровня нормированной АКФ на минус 0,5 дБ) относительное отклонение частоты не должно превышать величину $2,6 \cdot 10^{-8}$.

В случае равенства допустимых отклонений частоты сигналов передатчика и приемника значения относительного отклонения частоты не должны превышать $1,85 \cdot 10^{-8}$. В более высоких диапазонах частот и/или сигналов с большим значением базы допустимое относительное отклонение частоты сигнала должно быть уменьшено соответствующим образом.

Полученные с использованием соотношений (2)-(5) оценки определяют количественную взаимосвязь между постоянным отклонением частоты сигнала от номинального значения и снижением значения АКФ при корреляционной обработке сигнала.

В свою очередь, вероятность битовой ошибки в зависимости от уровня АКФ может быть определена с использованием следующего выражения

$$P_b(Q) \approx 2 \left(1 - 1/\sqrt{M}\right) \operatorname{erfc} \left[\sqrt{\frac{3 \log_2 M}{2(M-1)} \cdot \frac{Q \cdot \Delta F}{R_T}} \right] \quad (6)$$

Влияние случайных флуктуаций частоты несущей приводит к появлению флуктуаций фазы несущей

$$\Delta\varphi(t) = \int_0^t \omega(\tau) d\tau \quad (7)$$

Данные флуктуации наиболее сильно проявляются в каналах с QAM-сигналами. Количественная оценка указанной вероятности при одновременном воздействии амплитудного белого гауссовского шума (АБГШ) и фазового шума в канале связи с QAM-сигналами в зависимости от величины фазовых флуктуаций может быть получена с привлечением результатов работы [2] в виде

$$P_{QAM} = \frac{1}{N_i} \cdot \sum_m \left\{ J \left(1, m, 0, \sqrt{\gamma/N_2}, \sigma_\varphi^2 \right) \right\} \quad (8)$$

где N_i – коэффициент порядка модуляции; m – индексы порядка модуляции; γ – ОСШ на входе приемника; σ_φ^2 – дисперсия оценивания фазы приемник-передатчик.

На рисунках 3, 4 приведены полученные в [2] результаты исследований влияния фазового шума на изменение сигнала созвездия и вероятность битовой ошибки.

В частности, на рисунке 3 показаны сигнальные созвездия 16-QAM сигнала. На рисунке 4 для QAM сигнала при различных значениях $M = 2, 4, 16, 64$ показаны зависимости вероятности битовой ошибки от величины ОСШ при различных значениях мощности фазовых шумов.

Зависимости, показанные на рисунке 4, позволяют определить приемлемый уровень фазового шума для заданного ОСШ в канале связи, в зависимости от того, что требуется для приемлемой вероятности ошибок.

Затем, основываясь на соотношении (7), мы можем определить приемлемый уровень изменения частоты сигнала.

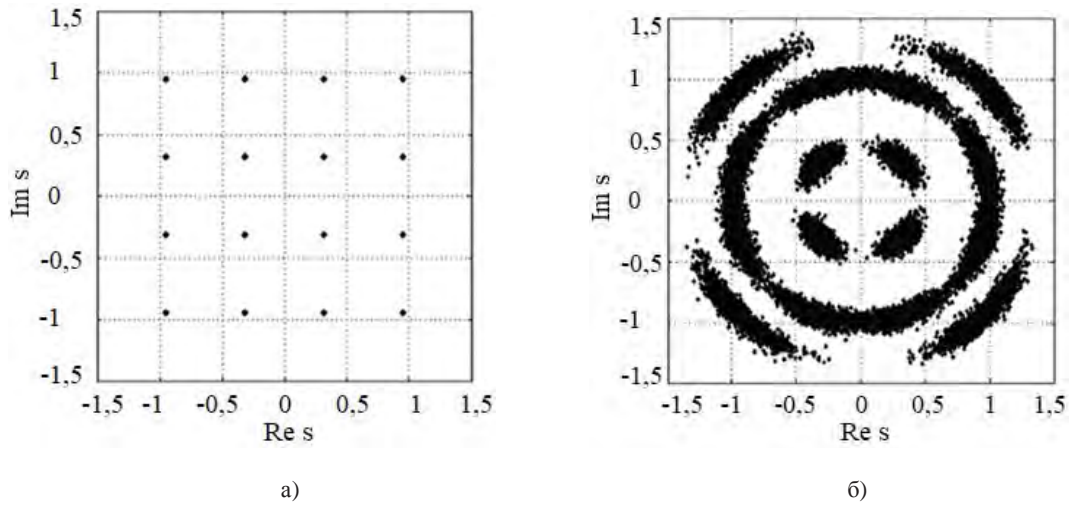


Рис. 3. Сигнальные созвездия 16-КАМ сигнала: а – переданного; б – принятого

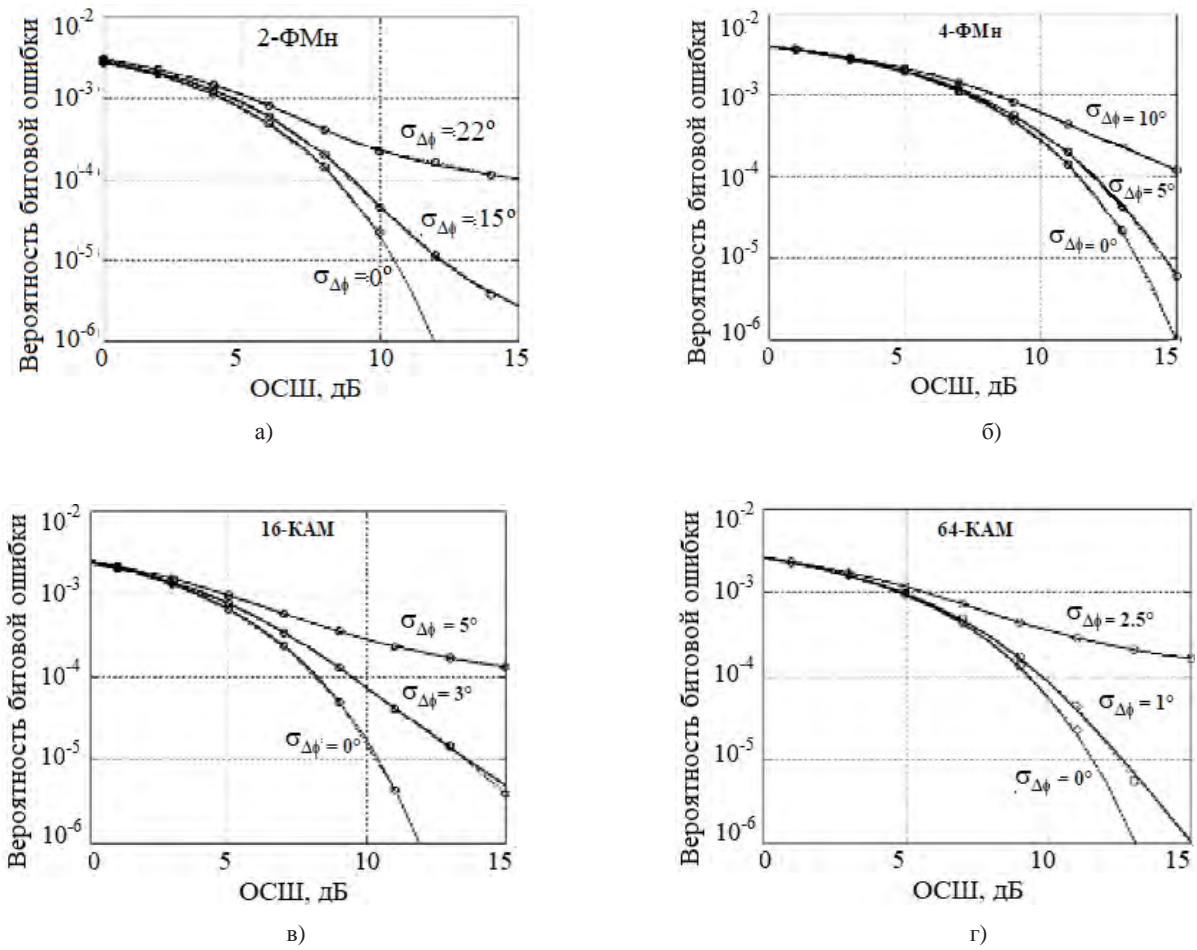


Рис. 4. Вероятность битовых ошибок при заданных значениях фазового шума: а – 2-ФМн модуляции; б – 4-ФМн модуляции; в – 16-КАМ модуляции; г – 64-КАМ модуляции

Заключение

Таким образом, в статье на основе опосредованной взаимосвязи между стабильностью частоты и отношением сигнал/шум в канале связи, с одной стороны, и вероятностью битовой ошибки с другой стороны. Рассмотрены вопросы вклада каждой из составляющих отклонения частоты – постоянного по величине отклонения частоты в течение импульса от номинального значения и случайного по характеру отклонения частоты.

Проанализированы полученные с использованием математического моделирования зависимости вероятности битовой ошибки указанных составляющих отклонения частоты сигнала. Можно отметить, что анализ влияния постоянной и случайной составляющих отклонения частоты сигнала от номинального значения на вероятность битовых ошибок использование метода корреляционного анализа случайных процессов позволяет находить закон распределения и параметры закона распределения флуктуаций частоты сигнала, длительности измерительного интервала от номинального значения. Это позволяет на основе полученных данных проводить оценку зависимости вероятности битовой ошибки и указанных составляющих отклонения частоты сигнала.

Литература

1. Сафарьян О.А. Метод статистической стабилизации частоты независимо работающих генераторов в инфокоммуникационных системах / автореферат на соискание степени канд. техн. наук / Юж. федер. ун-т. Ростов-на-Дону, 2015.

2. Артеменко А.А., Мальцев А.А., Рубцов А.Е. Влияние нечетности оценивания фазы несущей на вероятность битовых ошибок в М-КАМ системах передачи данных // Вест. Нижегород. ун-та им. Н.И. Лобачевского. 2007. № 2. С. 81-87.

3. Кузнецов В. С., Волков А. С., Солодков А. В., Дорошенко В. А. Разработка системы синхронизации на основе сложных широкополосных сигналов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Т. 14. № 5. С. 4-14. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-5-4-14.

4. Дворников С. В., Бальков А. А. Предложения по управлению скоростью передачи и помехоустойчивостью сигналов с перестановочной частотной модуляцией // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Т. 14. № 6. С. 20-26. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-6-20-26. EDN LLPGYL.

5. Seilov Sh. Zh., Goikhman V. Yu., Zhursinbek Ye. et al. Use of elements of artificial intelligence in the analysis of infocommunication traffic // Т-Comm. 2020. Vol. 14. No. 12. P. 66-71. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-12-66-71. EDN YBZZNN.

6. Сперанский В. С., Абрамов С. В., Клинов О. И. Сочетание кодового разделения абонентов и OFDM при передаче данных по волокну // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2019. Т. 13. № 3. С. 32-35. DOI 10.24411/2072-8735-2018-10245. EDN CJSYWI.

7. Журавель Е. П. Методика синтеза мультисервисной сети связи // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2019. Т. 13. № 4. С. 4-8. DOI 10.24411/2072-8735-2018-10254. EDN ZOJGDJ.

8. Вардамян В. А. Определение оптимальных уровней мощности передающих оптических модулей в волоконно-оптических системах передачи с частотным разделением каналов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2019. Т. 13. № 7. С. 4-9. DOI 10.24411/2072-8735-2018-10284. EDN JHIBUD.

9. Фазылов Л. И., Петрова Е. А., Бухарина А. А. Метод оценки гарантированной скорости передачи данных в OFDM системах // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2019. Т. 13. № 9. С. 4-8. DOI 10.24411/2072-8735-2018-10303. EDN KKAFFM.

FREQUENCY STABILIZATION BASED ON PRIMARY FUNDAMENTAL PROPERTIES OF LARGE SYSTEMS

OLGA A. SAFARYAN

Rostov-on-Don, Russia

IRINA A. ALFEROVA

Rostov-on-Don, Russia

JULIA I. NAYDENOVA

Rostov-on-Don, Russia

IRINA V. RESHETNIKOVA

Rostov-on-Don, Russia

ABSTRACT

Introduction. The issues of the development of digital communication technologies, their implementation and the development of new high-speed data transmission standards, which entail finding more efficient ways to use the allocated frequency band, which allows for the transmission of more data in a narrower frequency band, are considered. Reducing the required frequency band at a given data transfer rate is achieved by sending more bits using a single character. **Methods:** The main directions for improving modern digital communication technologies are the search for ways to use allocated frequency bands, which will be more efficient, i.e. will increase the amount of transmitted data while reducing the allocated bandwidth. The use of signal multiplexing techniques such as QAM and OFDM signal shaping reduces the occupied bandwidth to approximately the symbol rate. Bit error probability is one of the most important indicators of the efficiency of a communication sys-

KEYWORDS: a system of simultaneously and independently operating generators, synergy, emergence, harmonic signal, signal phase, frequency stability, frequency estimation, non-bias and efficiency of estimates, QAM signals.

tem. Issues related to the analysis of the bit error probability depending on the signal-to-noise ratio in the communication channel received fundamental and comprehensive consideration. At the same time, the relationship between bit error probability and frequency stability is less explored. **Research results:** The solution of this problem is possible by changing the amplitude and phase of the carrier between many discrete states of a large number of carrier frequencies with a low channel speed. Based on this, the article discusses issues related to the representation of the signal in the communication channel, taking into account the occurrence of fluctuations in amplitude, frequency and phase from nominal values. The conditions for the influence of constant and random components of the signal frequency deviation from the nominal value on the probability of a bit error are formulated. To implement the formed conditions, the results of mathematical modeling are presented, confirming the correctness of the theoretical results obtained and the main patterns noted.

REFERENCES

1. O.A. Safaryan (2015). The method of statistical stabilization of the frequency of independently operating generators in infocommunication systems / abstract for the degree of Cand. tech. Sciences / Yuzh. feder. un-t. Rostov-on-Don.
2. A.A. Artemenko, A.A. Maltsev, A.E. Rubtsov (2007). Influence of Carrier Phase Estimation Uncertainty on Bit Error Probability in M-QAM Data Transmission Systems. *Vest. Nizhegor'sk un-ta im. N.I. Lobachevsky*. No. 2, pp. 81-87.
3. V. S. Kuznetsov, A. S. Volkov, A. V. Solodkov, V. A. (2020). Doroshenko Development of a synchronization system based on complex wide-band signals. *T-Comm*. Vol. 14. No. 5, pp. 4-14. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-5-4-14.
4. S. V. Dvornikov, A. A. Balykov (2020). Proposals for controlling the transmission rate and noise immunity of signals with permutable frequency modulation. *T-Comm*. Vol. 14. No. 6, pp. 20-26. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-6-20-26.
5. Sh. Zh. Seilov, V. Yu. Goikhman, Ye. Zhursinbek et al. (2020). Use of elements of artificial intelligence in the analysis of infocommunication traffic. *T-Comm*. Vol. 14. No. 12, pp. 66-71. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-12-66-71.
6. V. S. Speransky, S. V. Abramov, O. I. Klintsov (2019). Combination of code separation of subscribers and OFDM in data transmission over fiber. *T-Comm*. Vol. 13.No. 3, pp. 32-35. DOI 10.24411/2072-8735-2018-10245
7. E. P. Zhuravel (2019). Method of synthesis of a multiservice communication network. *T-Comm*. Vol. 13. No. 4, pp. 4-8. DOI 10.24411/2072-8735-2018-10254
8. V. A. Vardanyan (2019). Determining the optimal power levels of transmitting optical modules in fiber-optic transmission systems with frequency division of channels. *T-Comm*. Vol. 13. No. 7, pp. 4-9. DOI 10.24411/2072-8735-2018-10284.
9. L. I. Fazylov, E. A. Petrova, A. A. Bukharina (2019). A method for estimating the guaranteed data rate in OFDM systems. *T-Comm*. Vol. 13. No. 9, pp. 4-8. DOI 10.24411/2072-8735-2018-10303

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Olga A. Safaryan, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

Irina A. Alferova, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

Julia I. Naydenova, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

Irina V. Reshetnikova, North Caucasus branch of Moscow Technical University of Communications and Informatics, Rostov-on-Don, Russia

For citation: Safaryan O.A., Alferova I.A., Naydenova Ju.I., Reshetnikova I.V. Frequency stabilization based on primary fundamental properties of large systems. *H&ES Reserch*. 2022. Vol. 14. No 5. P. 53-58. doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-5-53-58 (In Rus)

ОРГАНИЗАТОРЫ:

Институт Инженеров Электротехники и Электроники (ИИЭЭ)
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП)
Издательский дом "Медиа Паблишер"

XXVI INTERNATIONAL CONFERENCE

**«WAVE ELECTRONICS AND ITS
APPLICATION IN INFORMATION AND
TELECOMMUNICATION SYSTEMS»
(WECONF-2023)**

29 мая – 2 июня 2023 года, г. Санкт-Петербург,

Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения (ГУАП)

Доклады участников конференции будут включены в Программу Публикаций Конференций IEEE
(IEEE Conference Publication Program (CPP)) – **IEEE Explore**, возможна индексация в **Scopus**

Секции конференции:

1. Акустооптика
2. Акустоэлектроника
3. Оптические методы обработки информации
4. Обработка и передача информации в инфокоммуникационных системах
5. Круглый стол "Акустооптика и акустоэлектроника: проблемы, перспективы и области применения"
6. Встроенные микроэлектронные системы
7. Электромеханика и системы управления

Заочное участие в конференции и в индексе IEEE не предусмотрено!

Оргкомитет конференции:

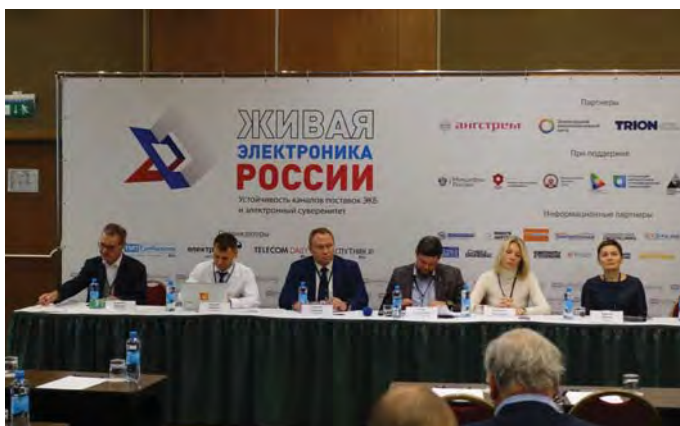
Тел.: +7 (495) 957-77-43; +7(926) 218-82-43

Адрес для отправки заявок и материалов: weconf@media-publisher.ru

ЖИВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА: ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ СУВЕРЕНИТЕТ ДОСТИЖИМ

АЛЕКСЕЙ ЖДАНОВ

В Москве состоялась ежегодная практическая конференция "Живая Электроника России 2022. Устойчивость каналов поставок электронной компонентной базы (ЭКБ) и электронный суверенитет". Представители профильных для индустрии электроники министерств, руководители ведущих российских разработчиков и поставщиков ЭКБ при участии менеджеров ИТ-компаний и операторов связи обсудили основные вызовы, стоящие перед отраслью в условиях усиления санкционного давления.



Центральной темой конференции стало замещение импортных электронных компонентов, доступность которых снижается из-за санкций и измерения логистических каналов. Стабилизация каналов поставок компонентной базы, расширение производственной номенклатуры отечественных предприятий, разработка конкурентоспособной ЭКБ требует координации действий регуляторов и участников рынка, констатировали эксперты форума.

Цель у регуляторов и компаний индустрии ЭКБ одна: обеспечение электронного суверенитета страны. Однако без расширения программ господдержки и решения жизненно важных оперативных задач разработчиков и производителей достижение этой стратегической цели невозможно, согласились ведущие отраслевые эксперты, собранные на одной дискуссионной площадке организаторами конференции – TMT Conference, медиагруппой "Электроника", "Телеспутником" и ИАА TelecomDaily.

"Требования регулятора по импортозамещению есть. Выполнения – нет"

Открывая основную сессию конференции – пленарное заседание "Госрегулирование и развитие российской элементной базы", Николай Плис, первый заместитель гене-

рального директора одного из ведущих российских производителей микроэлектроники, компании "Ангстрем", поделился показателями предприятия, характеризующими состояние и всего производственного сектора ЭКБ в целом. В текущем году востребованность российской электроники резко выросла, и темпы роста объемов производства "Ангстрема" в январе-августе составили относительно аналогичного периода прошлого года 132%. "Этого явно недостаточно. Характеристика производства сегодня – сроки поставок. Сроки поставок у нас выросли от 60 дней до 210", – отметил Николай Плис, подчеркнув, что крупнейший российский разработчик и производитель ЭКБ лишен доступа к инвестициям и программам господдержки.

Главным барьером на пути быстрого увеличения объемов выпуска он назвал нехватку кадров. Относительно небольшие затраты – порядка 80 млн руб., выделенные на программу расширения кадрового состава для полной загрузки оборудования, позволили бы увеличить выпуск в два-три раза за относительно короткий промежуток времени, однако даже получение такой суммы для "Ангстрема" сегодня затруднительно.

Исполнительный директор Ассоциации российских разработчиков и производителей электроники (АРПЭ) Иван Покровский поднял в своем выступлении важнейшую для отрасли тему, о которой в той или иной форме говорили все эксперты пленарного заседания. Из его слов следовало, что профильное для отрасли министерство – Минпромторг РФ – пока предпринимает недостаточно усилий для того, чтобы электронные компании получили отсрочки для своих ключевых сотрудников от частичной мобилизации. В том числе эта проблема распространяется на предприятия, работающие на нужды ОПК. Иван Покровский считает, что другое профильное министерство – Минцифры РФ – действует гораздо эффективнее, добиваясь отсрочек для специалистов ИТ-компаний.

Андрей Заренин, заместитель министра цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской

Федерации, комментируя острую для компаний ИТ и ЭКБ тему частичной мобилизации и отсрочек от нее, рассказал об инициативах ведомства в этой области. "У Минцифры есть реестр ИТ-компаний. Компании из реестра могут подать списки сотрудников на отсрочку на портале Госуслуг, исходя из перечня дипломов о высшем образовании, которые мы также опубликовали. Не знаю, есть ли подобный перечень у Минпромторга. Мы проработали перечень ИТ-специальностей, он достаточно широкий, подготовлен с учетом анализа специалистов, работающих в отрасли. В нем есть, например, лингвисты", – пояснил он.

Карина Абагян, директор по стратегическому развитию "Микрона", попросила Андрея Заренина рассказать о состоянии сквозных проектов, курируемых Минпромторгом и Минцифры. Предполагается, что такие проекты должны запускать цепочки разработки и производства полностью локализованных аппаратно-программных комплексов – от создания ЭКБ до выпуска "железа" и программ для него, с учетом потребностей будущих заказчиков.

Замглавы Минцифры пояснил, что в октябре обновлено постановление правительства о механизме сквозных проектов. "Механизм никуда не делся. Постановление действует. У нас есть нюансы в обсуждении проектов с Минфином. В течение месяца несколько проектов обсуждаются в Минфине, они дают замечания, мы их отработываем", – заявил Андрей Заренин.

Говоря о механизмах запуска производств ЭКБ, Карина Абагян сослалась на мировой опыт, констатировав, что создание масштабных чиповых фабрик полного цикла, включая выращивание кристаллов, невозможно на основе возвратного финансирования – крупные страны выделяют безвозвратные гранты на такие производства. Карина Абагян высказала мнение, что организация в РФ производств чипов по современным техпроцессам ниже 28 нм будет практически невозможна в ближайшее десятилетие из-за невозможности получения необходимого оборудования, прежде всего фотолитографического.

Однако у России есть шансы запустить и наладить в ближайшие годы производство самых востребованных отраслю микросхем по техпроцессам 65-45 нм. "Завод 65-45 нм можно вполне построить, потому что на большую часть оборудования есть по несколько альтернативных поставщиков", – подчеркнула Карина Абагян. Вторым шагом на пути обеспечения страны собственными полупроводниками, по ее словам, должно стать создание собственных копий материалов, используемых в производстве чипов за рубежом.

Василий Шпак, заместитель министра промышленности и торговли Российской Федерации, прокомментировал мнение Карины Абагян о невозможности развития чиповых производств полного цикла без грантов государства. "В американском CHIPS and Science Act (закон США, пре-

дусматривающий выделение из бюджета 52 млрд долл. на разработку и производство чипов на территории страны – прим. "Телеспутника") миллиарды раздаются в основном не на производство, а тем компаниям, которые занимаются дизайном – среди получателей Qualcomm и другие основные коллеги. Прямые деньги на производство не раздаются, а предоставляются налоговые льготы – прежде всего Intel, TSMC и другим коллегам, планирующим развивать производства в США.

У нас ситуация другая. Зазывать к нас этих коллег бесполезно. Производство нам придется строить самим. Государство соответствующие решения принимает. Приняты такие решения в отношении компании "Микрон" – льготный займ по линии Фонда развития промышленности (ФРП). Целый ряд соответствующих решений будет принят на уровне правительства. Прежде всего, это льготное кредитование по линии ФРП и возможность прямого бюджетного вливания тем компаниям, которые имеют прямое государственное участие", – сообщил Василий Шпак.

Светлана Легостаева, генеральный директор консорциума "Вычислительная техника" назвала самым важным для устойчивого развития отечественных производителей отечественной электроники наличие гарантированного спроса на их продукцию. "По линии сквозных проектов потрясающий задел 2021 года абсолютно не пропал. По вычислительной технике проводится апгрейд проектов, они выводятся на финансово-экономическое обоснование. Через Минфин все проходит непросто, но движение идет. Помимо уже реализованных кейсов есть готовность заказчиков, в том числе из нефтегазовой отрасли, заключать длительные контракты. Нам очень важна длительность, когда мы понимаем, что это не разовая поставка, а долгосрочное сотрудничество, и есть вектор долгосрочного спроса, который нам сейчас очень нужен", – подчеркнула Светлана Легостаева.

Алексей Сапунов, старший вице-президент по технической инфраструктуре "Ростелекома", заявил о готовности заключать долгосрочные контракты с разработчиками и производителями. Он напомнил о контракте "Ростелекома" на закупку у группы "Т8" телеком-оборудования и ПО на 2 млрд руб. до 2026 года, признав, что сумма может показаться незначительной в масштабах закупочной программы оператора, однако это лишь один из первых шагов в этом направлении.

"Ростелеком" развивает аналогичные программы с со своей дочерней компанией "Булат" и группой Yadro. Речь идет о закупках условно отечественных базовых станций у "Булата" с 2023 года и с 2025 года - полностью отечественных у Yadro. Алексей Сапунов признал, что оператор видит "много рисков" в долгосрочных контрактах с российскими компаниями. Однако без таких соглашений невозможно выполнение установленных государством KPI по импорто-

замещению. "По крайней мере есть заинтересованные стороны, которые связаны обязательствами. Это создает цепочки кооперации", – пояснил старший вице-президент "Ростелекома".

Захар Кондрашов, генеральный директор "НИИМА Прогресс" поделился опытом разработки модулей ЭКБ для навигации и связи, микроконтроллеров, ПО для мониторинга и автоматизации. Предприятие рассматривает для себя в качестве стратегического рынок робототехники и решений для интеллектуального управления производством.

Глава "НИИМА Прогресс" согласился с мнением коллег о необходимости стимулирования и поддержания спроса на российскую продукцию. "Сбыт недостаточен. Есть постановление правительства 719. Но, по этому постановлению, например, производители автомобилей могут не применять отечественную электронику. У них есть возможность получить 300-500 баллов за операцию покраски автомобиля. А за применение отечественной электроники они получают 100 баллов. Как производитель мы добились обязательных требований по применению отечественной элементной базы в виде навигационного приемника и связанного модема. По факту механизма отслеживания выполнения постановления 719 нет. Требования регулятора есть, их выполнения – нет", – посетовал Захар Кондрашов.

"Российская электроника жива"

Перспективным разработкам отечественных компаний, которые и будут обеспечивать цифровой суверенитет России в ближайшие годы, были посвящены две технологические сессии конференции.

Открывая сессию "Полупроводниковая светотехника", Андрей Калашников, руководитель рабочей группы по борьбе с контрафактной светодиодной продукцией Ассоциации производителей светодиодов и систем на их основе (АПСС), рассказал о проблемах при контроле отечественного происхождения светодиодов.

Развиваемый Минпромторгом проект по маркировке радиоэлектроники не во всех случаях позволяет исключить госзакупки светотехники на основе контрафактных светодиодов – об этом свидетельствуют данные мониторинга закупок АПСС. В этой связи члены Ассоциации предлагают запустить единую систему прослеживаемости светотехники, которая позволит решить те же задачи контроля оборота продукции, что и маркировка. Андрей Калашников предложил производителям светодиодов присоединиться к проекту и совместно внедрять систему прослеживаемости в практику закупок.

Сергей Щеглов, продукт-менеджер российского производителя светодиодов GS LED поделился опытом разра-

ботки продукции под нужды различных заказчиков и рассказал, какие отечественные материалы доступны сейчас в производстве. Так, GS LED может получать от российских контрагентов освоенные в производстве люминофоры и золотую проволоку. Возможен выпуск клея для чипов и идентификаторов продукта. Отсутствуют на рынке российские корпуса для светодиодов и излучающие чипы, нет возможности приобрести оптический силикон, выпущенный в РФ.

Татьяна Тришина, управляющий партнер, коммерческий директор ООО "Трион" рассказала о запущенном в сентябре текущего года ее компанией производстве источников питания для светодиодных светильников в Сергиевом Посаде. Специалисты "Триона" провели детальный анализ рынка российских компонентов, которые могли бы использоваться в схемотехнике источников питания и пришли к неутешительным выводам.

Вполне возможно получать российские трансформаторы, компаунды, электролитические конденсаторы, транзисторы, микросхемы, контроллеры. Однако, из слов Татьяны Тришиной следовало, что серийным российским компонентам в той или иной мере присуща нестабильность параметров, а по цене большая их часть совершенно неконкурентоспособна по сравнению с китайской продукцией.

Дмитрий Аникин, генеральный директор компанией "РусИД", также освоившей выпуск в России светодиодов, высказал мнение, что полный суверенитет в производстве этого вида ЭКБ возможен. В то же время в РФ пока отсутствует отечественное оборудование для ключевых этапов производства светодиодов, хотя, как отметили участники конференции, его заказная разработка имеет шансы на успех.

По крайней мере, в одном виде оборудования для светотехнической промышленности и измерительных лабораторий – фотометрического – технологический суверенитет России обеспечен. Сергей Никифоров, руководитель лаборатории "Архилайт", подчеркнул, что сейчас в РФ нечем заменить отечественные фотометрические стенды, поскольку оборудование западных производителей недоступно. При этом у разработанных "Архилайтом" аналогов характеристики не хуже, а по некоторым параметрам и намного лучше, чем у ведущих мировых компаний.

Эксперты завершающей сессии – "Электронные компоненты, корпуса и печатные платы" – представили линейки различных электронных компонентов, разработанных и подготовленных к серийному производству. Так, Евгения Трудновская, начальник отдела аналого-цифровых и специальных схем компании "Ангстрем" рассказала о линейках востребованных потребителями микросхемах АЦП и ЦАП, а также о драйверах и интеллектуальных силовых ключах в монолитном исполнении.



Драйверы, выпускаемые "Ангстремом", могут применяться в массово выпускаемых импульсных блоках питания, схемах питания электродвигателей и т.д.

Эдуард Литвиненко, инженер-конструктор дизайн-центра проектирования СБИС АО "ЗНТЦ" поделился опытом применения магниторезистивных датчиков при разработке заказных микросхем. Чипы с разработанными "ЗНТЦ" магниторезистивными датчиками ранее выпускались на зарубежных фабриках, однако сейчас рассматривается возможность переноса производства отдельных видов продукции в Россию.

В перечень разработок "ИПК "Электрон-Маш" входят широко востребованные в приемо-передающей аппаратуре СВЧ-модули. Как рассказал начальник маркетингового отдела "Электрон-Маша" Михаил Гладких, компания осваивает новые виды СВЧ ЭКБ, которые могут применяться, в том числе, в перспективных образцах отечественных базовых станций.

Главным выводом конференции стал тезис, многократно повторенный экспертами: российская электроника действительно жива и развивается вопреки санкционным ограничениям. Однако, для ускорения темпов ее развития необходима масштабная поддержка государственных органов и координация усилий всех участников отрасли.

Конференция "Живая Электроника России 2022" стала важной и своевременной площадкой для консолидации усилий предприятий ЭКБ.

Партнеры конференции:

- "Ангстрем" – один из крупнейших в России разработчиков и производителей полупроводниковой продукции.
- Компания "Трион" – разработчик и производитель светодиодных модулей, источников питания для светотехнических изделий различного назначения.
- Зеленоградский нанотехнологический центр – одна из лидирующих инновационных компаний в России, осуществляющая разработку и производство продукции в области микроэлектроники и микросистемной техники.
- "Электрон Маш" – компания, специализирующаяся на поставках СВЧ компонентов и комплектующих изделий."

Конференцию поддержали Минцифры РФ, АНО "Консорциум "Телекоммуникационные Технологии", АНО "Консорциум "Вычислительная техника", Ассоциация российских разработчиков и производителей электроники, Ассоциация производителей светодиодов и систем на их основе, АО "НИИЭТ", Ассоциация "Индустриальные инновации".



ORGANIZERS:

RUSSIA SECTION TEM/GRS/ITSS JOINT CHAPTER
IEEE REGION 8, RUSSIA SECTION ED/MTT/AES JOINT CHAPTER
INSTITUTE OF RADIO AND INFORMATION SYSTEMS (IRIS)

INTERNATIONAL CONFERENCE

"2023 Systems of signals generating and processing in the field of on board communications"

From 14 to 16 March 2023, Moscow, Russia
Avia Plaza, Aviamotornaya str., 10/2

IEEE Conference Record #56737

Conference will produce a publication
(IEEE Conference Publication Program (CPP)) – **IEEE Explore**,

Possibility of indexing in **Scopus** and **WoS**

The main areas of the conference «Systems of signals generating and processing in the field of on board communications» include modern digital transportation systems design and technical operation, radio waves propagation, transmitting, receiving and processing signals in television and radio broadcasting devices, information technologies in transport.

The papers which are discussed at the conference can be divided into the following chapters:

1. Antennas and Radio Waves Propagation
2. Navigation and Mathematical Algorithms of an Object Space Orientation.
3. Radiofrequency Applications.
4. Wire and Optical Communication and Control Systems.
5. Intelligent Transport Systems
6. Digital signal processing in on-board radio systems

Organising Committee:

111024, Moscow, Aviamotornaya, 8/1, office 323
Tel.: +7(926) 218-82-43, boardconf@media-publisher.ru
media-publisher.ru/en/2023-on-board