

Учредитель

Новосибирский государственный технический университет

Главный редактор

А.Г. Вострецов, д-р техн. наук, проф., засл. деятель науки РФ, НГТУ, г. Новосибирск

Заместитель главного редактора

С.А. Харитонов, д-р техн. наук, проф., НГТУ, г. Новосибирск

Ответственный секретарь

А.А. Воевода, д-р техн. наук, проф., НГТУ, г. Новосибирск

Редакционная коллегия

Ю.Е. Воскобойников, д-р физ.-мат. наук, проф., СибСТРИН, г. Новосибирск

Ю.Д. Григорьев, д-р техн. наук, проф., СПбГЭТУ (ЛЭТИ), г. С.-Петербург

А.М. Малышенко, д-р техн. наук, проф., ТПУ, г. Томск

Ю.Ф. Мухомад, д-р техн. наук, проф., засл. деятель науки РФ, ИрГУПС, г. Иркутск

А.И. Рубан, д-р техн. наук, проф., засл. деятель науки РФ,

СФУ, Ин-т косм. и информ. технологий, г. Красноярск

В.И. Хабаров, д-р техн. наук, проф., СГУПС, г. Новосибирск

Журнал зарегистрирован

в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания

и средств массовых коммуникаций в 2002 г.

(свидетельство ПИ № 77-11739 от 08 февраля 2002 г.)

Адрес редакции: 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20. E-mail: ucit@ucit.ru

Web site: <http://journals.nstu.ru/sbornik/>

Editorial adress: 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

**СБОРНИК
НАУЧНЫХ ТРУДОВ
НОВОСИБИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

ISSN 2307-6879

№ 1 (100)

2021

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ

Грачев В.В., Мышляев Л.П., Венгер М.К., Пургина М.В., Корovin Д.Е., Кулюшин Г.А. Применение технологий industry 4.0 при создании автоматизированных промышленных комплексов.....	7
Уляшин А.Ф., Величко А.А. Сравнительный анализ методов построения интегральных перемножителей сигналов.....	21
Каштанов А.А., Пажетнов М.Е., Коптев Е.С. Разработка автоматизированной системы подготовки оптических компонентов для производства оптических трансиверов.....	42
Воевода А.А., Романников Д.О. Об использовании нейронных регуляторов.....	53

СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Дронов В.Ю., Дронова Г.А., Белов В.М., Грищенко Л.А., Зырянов С.А. Автоматизация обработки данных в процессе аудита информационной безопасности.....	64
Редакционная страница. Информационное письмо главного редактора	80
Персоналии, поздравления. Поздравляем с юбилеем В.М. Белова.....	81
Правила для авторов.....	84

Выпускающий редактор *И.П. Брованова*
Корректор *Л.Н. Кинит*
Компьютерная верстка *С.И. Ткачева*

Лицензия № ИД 04303 от 20.03.01. Подписано в печать 20.02.2021. Выход в свет 25.02.2021
Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Тираж 50 экз. Уч.-изд. л. 4,88
Печ. л. 5,25. Изд. № 47. Заказ № 360. Цена договорная

Отпечатано в типографии
Новосибирского государственного технического университета
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

Editorial board

Novosibirsk State Technical University

Chief Editor

Vostretsov A.G., D. Sc. (Eng.), Novosibirsk State Technical University,
Novosibirsk, RF

Deputy Chief Editor

Kharitonov S.A., D. Sc. (Eng.), Novosibirsk State Technical University,
Novosibirsk, RF

Executive Secretary

Voevoda A.A., D. Sc. (Eng.), Novosibirsk State Technical University,
Novosibirsk, RF

The members of the editorial Board

Voskoboinikov Yu.E., D. Sc. (Eng.), Novosibirsk State University of Architecture
and Civil Engineering, Novosibirsk, RF

Grigor'ev Iu.D., D. Sc. (Eng.), Saint-Petersburg Electrotechnical University "LETI",
Saint-Petersburg, RF

Malysenko A.M., D. Sc. (Eng.), National Research Tomsk Polytechnic University,
Tomsk, RF

Mukhopad Iu.F., D. Sc. (Eng.), Irkutsk State University of Railway Engineering,
Irkutsk, RF

Ruban A.I., D. Sc. (Eng.), Siberian Federal University, Krasnoyarsk, RF

Khabarov V.I., D. Sc. (Eng.), Siberian Transport University, Novosibirsk, RF

*The journal is registered
in the RF Ministry for press, broadcasting
and masscommunications in 2002
(certificate PI № 77-11739 from February 08, 2002)*

Editorial address: 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

E-mail: ucit@ucit.ru

Web Site: <http://journals.nstu.ru/sbornik/>

© Authors, 2021

© Novosibirsk State

Technical University, 2021

CONTENTS

AUTOMATIC CONTROL AND IDENTIFICATION

Grachev V.V., Myshlyaev L.P., Venger M.K., Purgina M.V., Korovin D.E., Kulyushin G.A. Application of Industry 4.0 technologies in the creation of automated industrial complexes.....	7
Ulyashin A.F., Velichko A.A. Comparative analysis of analog parameters signal multi-pliers by differential transistor pairs.....	21
Kashtanov A.A., Pazhetnov M.E., Koptev E.S. Development of an automated system for preparation of optical components for the production of optical transivers	42
Voevoda A.A., Romannikov D.O. On the use of neural regulators.....	53

MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES

Dronov V.Yu., Dronova G.A., Belov V.M., Grishchenko L.A., Zyryanov S.A. Automation of data processing in the process of information security audit.....	64
Editorial page. Letter from the editor-in-chef.....	80
Personalities, congratulations. Congratulations on the anniversary.....	81
Rules for authors.....	84

Editor *L.N. Kinsht*
Publishing Editor *I.P. Brovanova*
Computer imposition *S.I. Tkacheva*

License № ID 04303 from 20.03.01. Signed in print February 20, 2021.
Date of publication February 25, 2021. Format 60 × 84 1/16.
Offset Paper. Circulation is 50 copies. Educational-ed. liter. 4,88. printed pages 5,25.
Publishing number 47. Order number 360

It is printed in printing house of Novosibirsk State Technical University
630073, Novosibirsk, 20 K. Marx Prospekt

*АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ
И ИДЕНТИФИКАЦИЯ*

УДК 681.513

DOI: 10.17212/2307-6879-2021-1-7-20

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ INDUSTRY 4.0
ПРИ СОЗДАНИИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ
ПРОМЫШЛЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ***

В.В. ГРАЧЕВ¹, Л.П. МЫШЛЯЕВ², М.К. ВЕНГЕР³, М.В. ПУРГИНА⁴,
Д.Е. КОРОВИН⁵, Г.А. КУЛЮШИН⁶

¹ 654007, РФ, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42, Сибирский государственный индустриальный университет, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации и информационных систем. E-mail: vitaly.grachev@nicsu.ru

² 654007, РФ, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42, ООО «Научно-исследовательский центр систем управления», доктор технических наук, директор. E-mail: mail@nicsu.ru

³ 650992, РФ, г. Кемерово, пр. Кузнецкий, 39, Кемеровский институт (филиал) Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова, аспирант кафедры финансов и банковского дела. E-mail: Venger_tk@mail.ru

⁴ 630099, РФ, г. Новосибирск, ул. Каменская, 56, Новосибирский государственный университет экономики и управления, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий. E-mail: pur-11@yandex.ru

⁵ 654007, РФ, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42, Сибирский государственный индустриальный университет, аспирант кафедры автоматизации и информационных систем. E-mail: denis_corovin@mail.ru

⁶ 654007, РФ, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42, Сибирский государственный индустриальный университет, магистрант кафедры автоматизации и информационных систем. E-mail: georgiy15091997@gmail.com

В статье рассматриваются вопросы создания автоматизированных промышленных комплексов с использованием технологий Industry 4.0. Описаны основные этапы развития понятия «Industry», технологии современного этапа Industry 4.0 – технологии построения и использования «цифровых двойников», BIM-технологии 3D-моделирования зданий и сооружений. Представлены области применения данных технологий, а также их достоинства и недостатки. Приведен пример проектирования элементов АСУ ТП обогатительной фабрики «Шахта №12» (г. Киселевск Кемеровской обл.) с использованием технологий Industry 4.0.

Ключевые слова: автоматизированный промышленный комплекс (АПК), промышленная революция, Industry 4.0, цифровой двойник, BIM-технологии, системы автоматизированного проектирования (САПР), моделирование, автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУ ТП), EPLAN

* Статья получена 12 декабря 2020 г.

ВВЕДЕНИЕ

Создание современных автоматизированных промышленных комплексов (АПК) представляет собой сложную задачу как в техническом, так и в организационном плане. В условиях ограниченных ресурсов эффективно решать задачи создания АПК невозможно без использования современных технологий (в частности, технологий Industry 4.0).

1. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ПОНЯТИЯ «INDUSTRY»

Кратко рассмотрим процесс развития и становления понятия «Industry» – «промышленная революция» (рис. 1) [1], а также основные технологии современного этапа Industry 4.0, используемые при создании автоматизированных комплексов.

Первая промышленная революция (Industry 1.0) началась во второй половине XVIII века после появления паровых машин, которые позволили перейти от ручного труда к машинному почти во всех областях производства, и вызвала колоссальный подъем производительности труда.

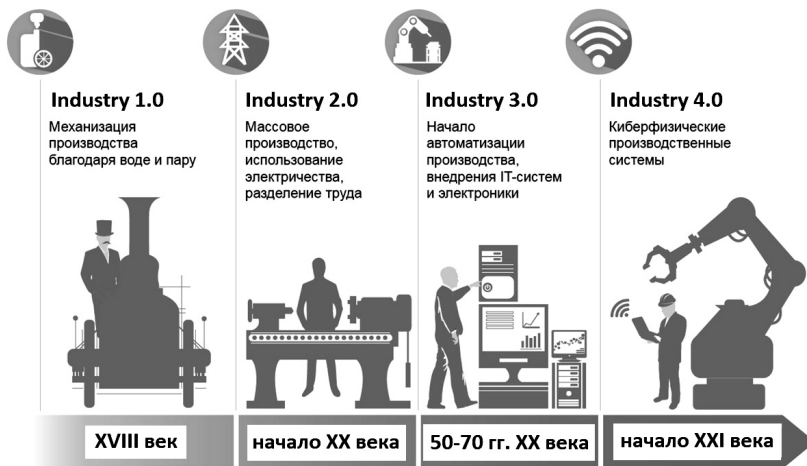


Рис. 1. Процесс развития понятия «Industry» – промышленная революция

Вторая промышленная революция (Industry 2.0) произошла с освоением электричества и характеризовалась развитием массового конвейерного производства. Ее главным «двигателем» стало развитие науки и внедрение ее результатов в производство.

Третья промышленная революция (Industry 3.0), ее еще называют цифровой революцией, началась во второй половине XX века с создания цифровых компьютеров и последующей эволюции информационных технологий.

Промышленная революция в настоящий период времени переходит в четвертую стадию (Industry 4.0), особенности которой заключаются в массовом внедрении «киберфизических систем» в производство [2]. Четвертая промышленная революция начала свое развитие от инициативы 2011 года, возглавляемой учеными, проектировщиками, производителями и политиками, которые определили Industry 4.0 как средство повышения конкурентоспособности обрабатывающей промышленности через усиленную интеграцию «киберфизических систем» в заводские процессы.

Основные технологии, развиваемые в рамках четвертой промышленной революции (Industry 4.0), показаны на рис. 2.



Рис. 2. Основные технологии Industry 4.0

При создании автоматизированных промышленных комплексов наиболее важными и перспективными технологиями Industry 4.0 являются технологии 3D-моделирования зданий и сооружений (BIM-технологии), а также технологии построения и использования «цифровых двойников».

2. ТЕХНОЛОГИИ ПОСТРОЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ «ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ»

«Цифровой двойник» (Digital Twin) в рамках Industry 4.0 определяется как виртуальное представление физического объекта, системы, комплекса на протяжении их жизненного цикла с использованием в реальном времени данных,

получаемых с интеллектуальных датчиков [3]. В рамках технологии «цифровых двойников» для физического объекта, единицы оборудования или целого промышленного комплекса создается цифровая модель, которая используется для анализа и прогнозирования поведения такого объекта или комплекса в целом.

Цифровая модель постоянно обновляется, чтобы максимально полно соответствовать текущему рабочему режиму реального комплекса. Это дает возможность выявить непредусмотренные изменения в процессах, оптимизировать режимы работы оборудования, предотвращать поломки и аварии, что в итоге позволяет существенно повысить надежность и эффективность эксплуатации АПК.

Однако на данный момент научно-практические основы создания цифровых двойников АПК разработаны слабо [4].

Для некоторых отраслей производств разработаны и отлажены цифровые двойники типовых объектов (например, нефтегазовая отрасль, машиностроение) [5–7]. Однако полностью перенести уже готовую отлаженную систему на новый объект невозможно, поскольку даже несущественные на первый взгляд отличия могут стать причиной значительных отклонений и ошибок. Даже для аналогичных, казалось бы, производств каждый раз требуется существенная доработка.

Основная сложность при создании АПК с использованием технологий цифровых двойников заключается в выборе и дальнейшем развитии таких методов создания и исследования цифровых двойников, которые позволяют, во-первых, обоснованно перенести (пересчитать) результаты модельных решений на натурную систему управления и, во-вторых, наиболее полно учесть особенности и условия ее функционирования. По нашему мнению, это возможно при использовании методов натурно-математического моделирования [8, 9].

3. BIM-ТЕХНОЛОГИИ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Следующая технология в рамках Industry 4.0, широко применяемая при создании АПК, связана с использованием BIM-пакетов 3D-моделирования зданий и сооружений. BIM (Building Information Model/Modeling) определяется как информационная модель / моделирование зданий и сооружений, под которыми в широком смысле понимают любые объекты инфраструктуры [10].

Первые BIM-технологии начали появляться в конце XX – начале XXI века. Как отдельное направление систем автоматизированного проектирования

(САПР), связанное с 3D-моделированием зданий и сооружений в виде цифровых трехмерных моделей (цифровых двойников зданий и сооружений), BIM сформировалось во втором десятилетии XXI века (рис. 3).

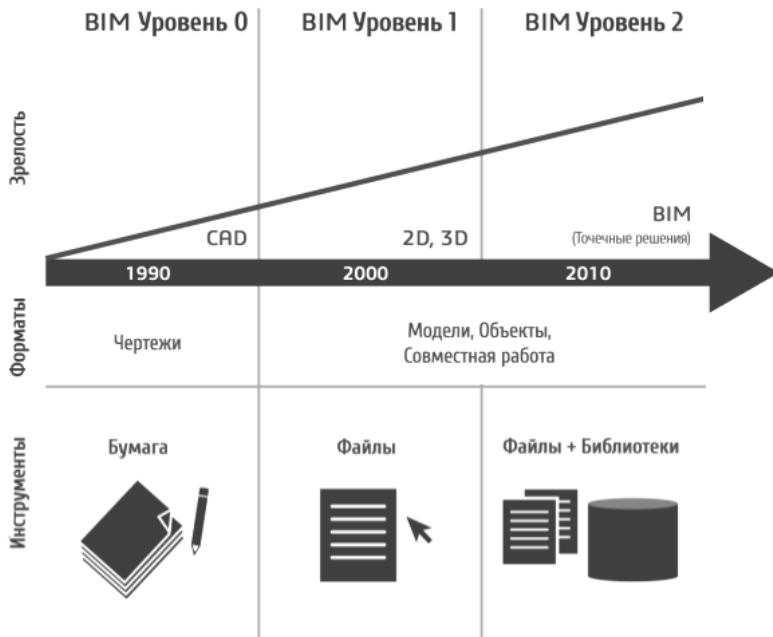


Рис. 3. Эволюция BIM-технологий при создании автоматизированных промышленных комплексов

Процесс проектирования основан на создании и использовании 3D-моделей абсолютно всех элементов зданий и сооружений, а также их инженерных коммуникаций (рис. 4). Таким образом, BIM-технологии предоставляют единую информационную платформу для всех участников создания автоматизированного промышленного комплекса: проектировщиков, архитекторов, инженеров, строителей и т. д. BIM-технологии позволяют объединить труд множества людей разных направлений в единую оболочку, позволяя упростить и автоматизировать процессы проектирования и разработки.

Сразу следует отметить, что BIM-технологии не являются универсальными и всеобъемлющими технологиями проектирования автоматизированных промышленных комплексов в целом. Области эффективного применения BIM-технологий ограничены и связаны прежде всего с задачами

построения 3D-моделей зданий и сооружений, их инженерных коммуникаций, то есть с задачами пространственного характера – компоновкой строительных конструкций, технологического оборудования, инженерных сетей (водных, газовых, электрических, канализационных, коммуникационных) и т. п. Задачи разработки программного, алгоритмического математического обеспечения АСУ ТП BIM-технологии не решают – для решения этих задач требуется использование иных инструментов и технологий проектирования [11, 12].



Рис. 4. 3D-модель здания, построенная с помощью BIM

Главным достоинством использования BIM-технологий является высокая скорость проектирования 3D-моделей, их наглядность, возможность быстрого внесения изменений на любом этапе проектирования, легкость в организации совместной работы множества исполнителей одного проекта.

Однако при использовании BIM-технологий имеются и недостатки. Прежде всего это необходимость в переходном процессе к использованию BIM-технологий: требуется перестройка всех участников создания автоматизированного промышленного комплекса с традиционного локального проектирования на 3D-моделирование. Возрастает ответственность специалистов,

а также повышаются требования к их знаниям и квалификации как в технической, так и в информационной части [13, 14].

Также одной из возможных проблем использования BIM-технологий при проектировании автоматизированных промышленных комплексов может быть формируемый BIM-средствами набор проектной документации и форма представления документов. Подавляющее большинство программ построения BIM-моделей являются продуктами зарубежного производства и, как правило, не адаптированы и не локализованы в полной мере под нормы проектирования и строительства Российской Федерации. В большинстве случаев (80 %) дополнительно требуются трудоемкие операции по локализации проектной документации под нормы и стандарты конкретного государства.

Несмотря на все указанные недостатки, сфера применения BIM-технологий при построении 3D-моделей довольно широка, их использование экономически целесообразно и эффективно. Использование цифровых двойников зданий и сооружений в виде 3D-моделей, построенных с использованием BIM, значительно упрощает процессы их проектирования, строительства и эксплуатации.

На текущий момент на российском рынке программного обеспечения (ПО) представлено большое количество BIM-пакетов. Наибольшее распространение получили BIM-пакеты, представленные в таблице.

При проектировании шкафов АСУ ТП углеобогатительной фабрики «Шахта № 12» (г. Киселевск Кемеровской обл.) был апробирован BIM-пакет EPLAN Electric от компании EPLAN Software & Service GmbH & Co (Германия) для автоматического формирования проектной документации на основе 3D-моделей компонентов, применяемых в данных шкафах. BIM-проектирование позволило существенно (в пять раз) сократить время на разработку проекта шкафов управления АСУ ТП (рис. 5).

BIM-пакеты, представленные на российском рынке программного обеспечения

Характеристика	BIM-пакет			
	Allplan	Revit	Renga	EPLAN
1. Компания-разработчик	Nemetschek Allplan Systems GmbH (Германия)	Autodesk, Inc. (США)	Renga Software (Российская Федерация)	EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG (Германия)

Окончание таблицы

Характеристика	BIM-пакет			
	Allplan	Revit	Renga	EPLAN
2. Функциональные возможности	Средняя	Высокая	Низкая	Высокая
3. Области применения	Архитектура, конструктивные элементы	Архитектура, конструктивные элементы, инженерия	Архитектура	Автоматизация, конструктивные элементы, инженерия
4. Поддержка российского рынка	Русифицированное ПО, отсутствие нормативов строительства и документирования для российского рынка	Частичная русификация, отсутствие нормативов строительства и документирования для российского рынка	Полная поддержка российских требований и стандартов проектирования	Поддержка российских нормативно-технических стандартов ГОСТ
5. Совместимость использования с другими программными продуктами	Интеграция с открытыми системами проектирования российских разработчиков ПО	Интеграция с приложениями от Autodesk	Применение созданных моделей в решениях 1С	Совместимость форматов документов с другими САПР (например, AutoCAD)

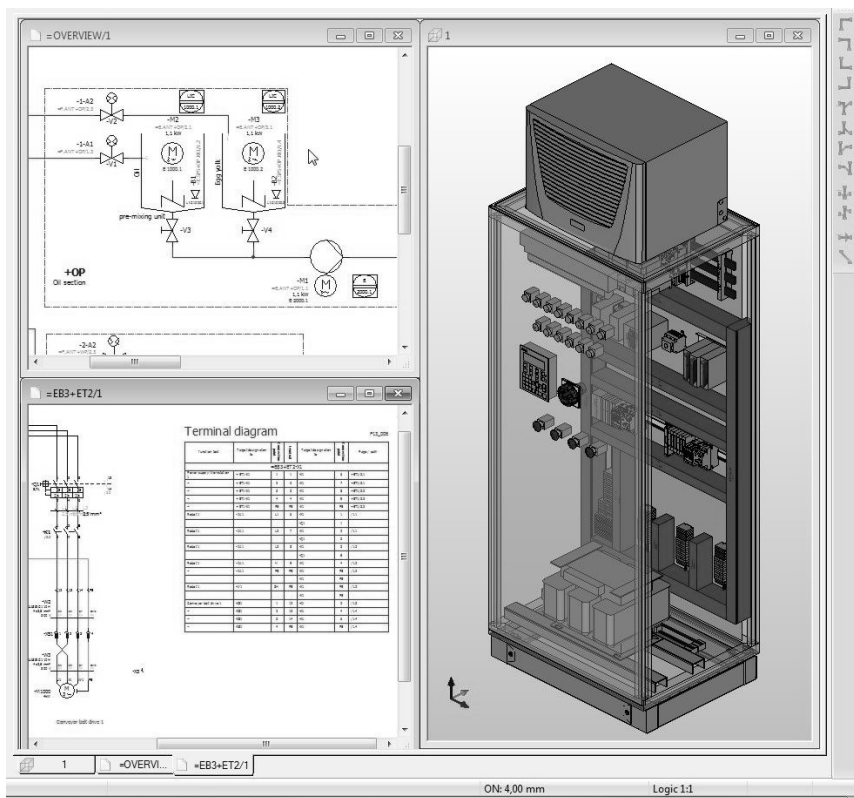


Рис. 5. Шкаф управления АСУ ТП ОФ «Шахта № 12», спроектированный с помощью BIM-пакета EPLAN Electric

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технологии четвертой промышленной революции Industry 4.0 являются во многом перспективными технологиями при создании автоматизированных промышленных комплексов.

Рассмотренные в рамках настоящей статьи технологии Industry 4.0 (технологии построения и использования цифровых двойников, BIM-технологии) не являются универсальными инструментами создания автоматизированных промышленных комплексов. Они лишь в некоторой части позволяют решать задачи проектирования АПК, но не решают проблемы алгоритмизации управ-

ления сложными технологическими процессами, задачи разработки информационного, математического и программного обеспечения АПК.

Однако при развитии данных технологий в русле натурно-модельного подхода они смогут выступить основой при создании современных автоматизированных промышленных комплексов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Промышленная революция // Википедия. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Промышленная_революция (дата обращения: 16.03.2021).
2. Четвертая промышленная революция // Википедия. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Четвёртая_промышленная_революция (дата обращения: 16.03.2021).
3. Digital Twin: перспективы использования цифровых двойников. – URL: <https://nfp2b.ru/2019/01/09/digital-twin-perspektivy-ispolzovaniya-tsifrovyyh-dvoynikov/> (дата обращения: 16.03.2021).
4. Мышляев Л.П., Венгер К.Г., Грачев В.В. Цифровизация и управление // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве, AS'2019: труды XII Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием) / Сибирский государственный индустриальный ун-т; под общ. ред. С.М. Кулакова, Л.П. Мышляева. – Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2019. – С. 29–31.
5. Применение цифрового двойника в нефтегазовой отрасли / В.Н. Быкова, Е. Ким, М.Р. Гаджиалиев, В.О. Мусиенко, А.О. Оруджев, Е.А. Туровская // Актуальные проблемы нефти и газа. – 2020. – Вып. 1 (28). – С. 8. – DOI: 10.29222/ипнг.2078-5712.2020-28.art8.
6. Еремин Н.А., Еремин Ал.Н. Цифровой двойник в нефтегазовом производстве // Нефть. Газ. Новации. – 2018. – № 12. – С. 14–17.
7. Кокорев Д.С., Посмаков Н.П. Применение «цифровых двойников» в производственных процессах // Colloquium-journal. – 2019. – № 26-2 (50). – С. 71–78.
8. Системы автоматизации на основе натурно-модельного подхода. В 3 т. Т. 2. Системы автоматизации производственного назначения / под ред. Л.П. Мышляева. – Новосибирск: Наука, 2006. – 483 с.
9. Натурно-математическое моделирование в системах управления: учебное пособие / В.П. Авдеев, С.Р. Зельцер, В.Я. Карташов, С.Ф. Киселев. – Кемерово: КемГУ, 1987. – 84 с.
10. BIM // Википедия. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/BIM> (дата обращения: 16.03.2021).

11. *Сазыкин Г.П., Синеокий Б.А., Мышляев Л.П.* Проектирование и строительство углеобогачительных фабрик нового поколения. – Новокузнецк: СибГИУ, 2003. – 126 с.

12. *Грачев В.В., Шипунов М.В.* Программное обеспечение систем автоматизации управления промышленными комплексами // Автоматизированный электропривод и промышленная электроника в металлургической и горно-топливной отраслях: труды Шестой всероссийской научно-практической конференции. – Новокузнецк: СибГИУ, 2014. – С. 226–232.

13. BIM – от проекта до готового здания. Информационное моделирование в строительной отрасли // Информационный портал Rengabim.com. – URL: <https://rengabim.com/press-room/renga-v-smi/bim-ot-proekta-do-gotovogo-zdaniya-informacionnoe-modelirovanie-v-stroitelnoj-otrasli/> (дата обращения: 16.03.2021).

14. *Таланов В.В.* Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий. – М.: ДМК-Пресс, 2011. – 392 с.

Грачев Виталий Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации и информационных систем Сибирского государственного индустриального университета (СибГИУ). E-mail: vitaly.grachev@nicsu.ru

Мышляев Леонид Павлович, доктор технических наук, профессор, директор ООО «Научно-исследовательский центр систем управления». E-mail: mail@nicsu.ru

Венгер Михаил Константинович, аспирант кафедры финансов и банковского дела Кемеровского института (филиала) Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова. E-mail: Venger_mk@mail.ru

Пургина Марина Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий Новосибирского государственного университета экономики и управления. E-mail: pur-11@yandex.ru

Коровин Денис Евгеньевич, аспирант кафедры автоматизации и информационных систем Сибирского государственного индустриального университета (СибГИУ). E-mail: denis_corovin@mail.ru

Кулюшин Георгий Александрович, магистрант кафедры автоматизации и информационных систем Сибирского государственного индустриального университета (СибГИУ). E-mail: georgiy15091997@gmail.com

DOI: 10.17212/2307-6879-2021-1-7-20

Application of industry 4.0 technologies in the creation of automated industrial complexes*

V.V. Grachev¹, L.P. Myshlyaev², M.K. Venger³, M.V. Purgina⁴,
D.E. Korovin⁵, G.A. Kulyushin⁶

¹ Siberian State Industrial University, 42 Street Kirov, Novokuznetsk, 654007, Russian Federation, candidate of technical sciences, associate professor of the automation and information systems. E-mail: vitaly.grachev@nicsu.ru

² LLC "Research Center of Control Systems", 42 Street Kirov, Novokuznetsk, Russian Federation, doctor of technical sciences, director. E-mail: mail@nicsu.ru

³ Kemerovo Institute (Branch) of Plekhanov Russian University of Economics, 39 Kuznetsky Prospekt, Kemerovo, 654007, Russian Federation, postgraduate student of the department of the finance and banking. E-mail: Venger_mk@mail.ru

⁴ Novosibirsk State University of Economics and Management, 56 Street Kamenskaya, Novosibirsk, R630099, Russian Federation, candidate of technical sciences, associate professor of the information technologies. E-mail: pur-11@yandex.ru

⁵ Siberian State Industrial University, 42 Street Kirov, Novokuznetsk, 654007, Russian Federation, postgraduate student of the department of the automation and information systems. E-mail: denis_corovin@mail.ru

⁶ Siberian State Industrial University, 42 Street Kirov, Novokuznetsk, 654007, Russian Federation, master student of the department of the automation and information systems. E-mail: georgiy15091997@gmail.com

The article examines the creation of automated industrial systems with the use of Industry 4.0. Describes the main stages of development of the concept of "Industry", technology of the present stage of Industry 4.0 technologies and the use of "digital twins" BIM 3D modeling of buildings and structures. The areas of application of these technologies, as well as their advantages and disadvantages, are presented. An example of designing the elements of the automated process control system of the processing plant "Mine No. 12" (Kiselevsk, Kemerovo region) using Industry 4.0 technologies is given.

Keywords: automated industrial complex (AIC), Industrial revolution, Industry 4.0, digital twin, BIM-technologies, computer-aided design (CAD) systems, modeling, automated process control systems (APCS), EPLAN

REFERENCES

1. Industrial revolution. *Wikipedia*. (In Russian). Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Industrial_revolution (accessed 16.03.2021).
2. The Fourth Industrial Revolution. *Wikipedia*. (In Russian). Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Четвертая_промышленная_революция (accessed 16.03.2021).

* Received 12 December 2020.

3. *Digital Twin: perspektivy ispol'zovaniya tsifrovyykh dvoynikov* [Digital Twin: prospects for the use of digital twins]. Available at: <https://nfp2b.ru/2019/01/09/digital-twin-perspektivy-ispolzovaniya-tsifrovyyh-dvoynikov> (accessed 16.03.2021).

4. Myshlyaev L.P., Venger K.G., Grachev V.V. [Digitalization and management]. *Sistemy avtomatizatsii v obrazovanii, nauke i proizvodstve, AS'2019: trudy XII Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (s mezhdunarodnym uchastiem)* [Automation systems in education, science and production, AS'2019: Proceedings of the XII All-Russian scientific and practical conference (with international participation)]. Novokuznetsk, 2019, pp. 29–31. (In Russian).

5. Bykova V.N., Kim E., Gadzhialiev M.R., Musienko V.O., Orudzhev A.O., Turovskaya E.A. *Primenenie tsifrovogo dvoynika v neftegazovoi otrasli* [Application of a digital twin in the oil and gas industry]. *Aktual'nye problemy nefti i gaza = Actual Problems of Oil and Gas*, 2020, iss. 1 (28), p. 8. DOI: 10.29222/ipng.2078-5712.2020-28.art8.

6. Eremin N.A., Eremin A.I.N. *Tsifrovoi dvoynik v neftegazovom proizvodstve* [Digital twin in the oil and gas production]. *Neft'. Gaz. Novatsii = Oil. Gas. Innovations*, 2018, no. 12, pp. 14–17.

7. Kokorev D.S., Posmakov N.P. *Primenenie "tsifrovyykh dvoynikov" v proizvodstvennykh protsessakh* [Application of "digital twins" in production processes]. *Colloquium-journal*, 2019, no. 26-2 (50), pp. 71–78. (In Russian).

8. Myshlyaev L.P., ed. *Sistemy avtomatizatsii na osnove naturno-model'nogo podkhoda. V 3 t. T. 2. Sistemy avtomatizatsii proizvodstvennogo naznacheniya* [Automation systems based on a natural model approach. In 3 vols. Vol. 2. Automation systems of production engineering]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2006. 483 p.

9. Avdeev V.P., Zel'tser S.R., Kartashov V.Ya., Kiselev S.F. *Naturno-matematicheskoe modelirovanie v sistemakh upravleniya* [Natural and mathematical modeling in control systems]. Kemerovo, KemSU Publ., 1987. 84 p.

10. BIM [Building Information Model / Modeling]. *Wikipedia*. (In Russian). Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/BIM> (accessed 16.03.2021).

11. Sazykin G.P., Sineokii B.A., Myshlyaev L.P. *Proektirovanie i stroitel'stvo uglebogatitel'nykh fabrik novogo pokoleniya* [Design and construction of new generation coal processing plants]. Novokuznetsk, SibGIU Publ., 2003. 126 p.

12. Grachev V.V., Shipunov M.V. [Software for automation systems for industrial complexes]. *Avtomatizirovannyyi elektroprivod i promyshlennaya elektronika v metallurgicheskoi i gorno-toplivnoi otraslyakh: trudy Shestoi vs Rossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Automated electric drive and industrial electronics in metallurgical and mining and fuel industries. Proceedings of the Sixth conference]. Novokuznetsk, SibGIU Publ., 2014, pp. 226–232. (In Russian).

13. BIM – ot proekta do gotovogo zdaniya. Informatsionnoe modelirovanie v stroitel'noi otrasli [BIM – from the project to the finished building. Information modeling in the construction industry]. *Information portal Rengabim.com*. (In Russian). Available at: <https://rengabim.com/press-room/renga-v-smi/bim-ot-proekta-do-gotovogo-zdaniya-informacionnoe-modelirovanie-v-stroitelnoj-otrasli/> (accessed 16.03.2021).

14. Talapov V.V. *Osnovy BIM: vvedenie v informatsionnoe modelirovanie zdanii* [Fundamentals of BIM: introduction to information modeling of buildings]. Moscow, DMK-Press Publ., 2011. 392 p.

Для цитирования:

Применение технологий Industry 4.0 при создании автоматизированных промышленных комплексов / В.В. Грачев, Л.П. Мышляев, М.К. Венгер, М.В. Пургина, Д.Е. Коровин, Г.А. Кулюшин // Сборник научных трудов. – 2021. – № 1 (100). – С. 7–20. – DOI: 10.17212/2307-6879-2021-1-7-20.

For citation:

Grachev V.V., Myshlyaev L.P., Venger M.K., Purgina M.V., Korovin D.E., Kulyushin G.A. *Primenenie tekhnologii Industry 4.0 pri sozdanii avtomatizirovannykh promyshlennykh kompleksov* [Application of industry 4.0 technologies in the creation of automated industrial complexes]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2021, no. 1 (100), pp. 7–20. DOI: 10.17212/2307-6879-2021-1-7-20.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПЕРЕМНОЖИТЕЛЕЙ СИГНАЛОВ*

А.Ф. УЛЯШИН¹, А.А. ВЕЛИЧКО²

¹ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, магистрант кафедры полупроводниковых приборов и микроэлектроники. E-mail: ulyashin_2018@mail.ru

² 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, профессор кафедры полупроводниковых приборов и микроэлектроники. E-mail: Velichko@amber.ref.nstu.ru

Настоящая работа посвящена сравнительному анализу современных интегральных перемножителей. На сегодняшний день ряд зарубежных компаний, таких как Texas Instruments и Analog Devices, выпускают аналоговые перемножители сигналов (АПС) в интегральном исполнении. Российской промышленностью выпускаются микросхемы серии 525ПС и 174ХА. Каждый производитель использует собственную методику реализации устройства. Основной задачей таких устройств является вычисление действующего напряжения, фазы, экспоненциальных и трансцендентных функций. Широкою применимость АПС в интегральном исполнении нашли в устройствах аналоговой обработки и преобразования сигналов связной и радиотехнической аппаратуры, в устройствах автоматического управления бортовой и наземной радиоаппаратуры. Очень важной характеристикой такой аппаратуры является динамический диапазон. Динамический диапазон приемника – это диапазон амплитуд входного сигнала, при которых обеспечивается требуемое качество воспроизведения принятого сообщения. Нижняя граница динамического диапазона определяется уровнем собственных шумов или внешних помех в устройстве, а верхняя – перегрузочной способностью устройства. С связи с этим перед производителями перемножителей стоит задача максимально увеличить напряжение, которое можно подавать на его входы. Сложность состоит в том, что верхняя граница динамического диапазона задается нелинейными искажениями. Нелинейность перемножителя является составляющей погрешности перемножения и характеризует предельные возможности входов АПС. В настоящей работе проведен сравнительный анализ основных видов интегральных перемножителей, предложенных на рынке, с целью выявления наилучшего метода построения для достижения значения динамического диапазона перемножителя в 90 дБ при высокой точности перемножения, что позволит применить такой перемножитель в современной радиоаппаратуре.

Ключевые слова: функциональный преобразователь, перемножитель сигналов, динамический диапазон, сигнал / шум, точность перемножения, полевой транзистор, биполярный транзистор, аналоговый сигнал, системы телекоммуникации

* Статья получена 14 декабря 2020 г.

ВВЕДЕНИЕ

Во многих современных вычислительных и счетно-решающих устройствах используются функциональные преобразователи (ФП), которые выполняют как линейные, так и нелинейные операции. Такие преобразователи делятся на цифровые и аналоговые. При обработке цифрового сигнала на входе и выходе применение цифрового ФП чаще всего оправданно. В случае если входные и выходные сигналы аналоговые, то использование цифрового ФП приводит к ряду существенных неудобств, основным из которых является потребность в присутствии входного аналого-цифрового преобразователя (АЦП) в составе проектируемой системы, а также цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) на выходе. Поэтому целесообразнее использовать в таком случае аналоговый ФП, который обеспечит полную совместимость информационных сигналов в системе. Применение аналоговых ФП особенно оправданно при создании информационно-вычислительных и измерительных систем, работающих в реальном масштабе времени. Техническую основу аналоговых ФП составляют аналоговые блоки различного назначения и различной точности выполнения линейных и нелинейных операций. В период развития аналоговых и гибридных вычислительных машин особенно необходимой стала разработка аналоговых блоков ФП для выполнения нелинейных операций.

В последнее время весьма широкое распространение получили интегральные нелинейные аналоговые преобразователи, предназначенные для выполнения операций умножения, деления, возведения в квадрат, извлечения квадратного корня и других. Одним из самых распространенных по применимости среди нелинейных аналоговых преобразователей является аналоговый перемножитель сигналов (АПС). Совместно с другими ФП (ОУ, фильтрами, логарифмическими преобразователями) АПС выполняет задачи вычисления действующего напряжения, фазы, экспоненциальных и трансцендентных функций, корреляционных зависимостей. При использовании АПС в связанной аппаратуре можно реализовать все виды детекторов (линейные, квадратичные, синхронные, фазовые, частотные и др.) и модуляторов-демодуляторов (амплитудные, балансные, синхронные, бифазные, частотные и другие). Помимо этого, на основе перемножителей возможно построение различных устройств автоматической регулировки усиления (устройства АРУ, компрессоры и экспандеры) и перестраиваемых напряжением фильтров и управляемых генераторов. Основная суть работы АПС состоит в перемножении двух аналоговых величин – токов или напряжений. В системах автоматического регулирования они могут выполнять функции перемножения и возведения в квадрат, а совместно с операционными усилителями выполнять деление, из-

влечение корней и выделение тригонометрических функций. На рынке универсальных устройств аналоговые перемножители занимают одно из ведущих мест, поэтому их совершенствование идет постоянно [1].

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Аналоговый перемножитель сигналов – традиционный элемент аналоговой вычислительной техники, который применяется для выполнения операций умножения, деления, возведения в степень и извлечения квадратного корня. В состав АПС входит два входа и один выход, напряжение на котором пропорционально произведению напряжений на входе U_x и U_y :

$$U_{\text{вых}} = k_0 U_x U_y, \quad (1)$$

где k_0 – масштабный коэффициент; U_x – напряжение на входе x ; U_y – напряжение на входе y .

Так как данный вид аналоговых устройств является универсальным, то для более полной совместимости и взаимозаменяемости морально устаревших схмотехнических конфигураций более новыми необходимо соблюдение такого параметра, как четырехквadrантность. Это означает, что обе входные величины могут принимать как положительные, так и отрицательные значения. Таким образом, если одну входную величину отложить по оси X декартовой системы координат, а вторую – по оси Y , то перемножитель должен нормально функционировать во всех четырех квадрантах получившейся системы.

Эталонный АПС должен иметь бесконечное входное сопротивление по обоим входам, выходное сопротивление, равное нулю, и максимальную точность выполнения приведенного выше уравнения в любом диапазоне входных и выходных напряжений и частот. Напряжение на выходе идеального АПС должно быть равно нулю, если напряжение на любом из входов равно нулю, т. е. у эталонного АПС должны отсутствовать напряжение смещения, дрейф и шум. Известно, что настоящие АПС не имеют идеальных характеристик, т. е. приведенные выше свойства эталонного аналогового перемножителя воспроизводятся с какой-то степенью приближения, описываемой системой электрических параметров АПС. Иначе говоря, реальные АПС обладают конечными (ненулевыми) значениями напряжения смещения, дрейфа и шума, и, что самое важное, коэффициент масштабного коэффициента зависит от входных напряжений и частоты [1, 2].

В общем и целом аналоговый перемножитель представляет собой нелинейную схему. Но если мы подадим на один из входов постоянный сигнал

($U_x = a_x = \text{const}$), а на другой – изменяющийся по амплитуде (или во времени) сигнал ($U_y = u_y(t)$), то на выходе перемножителя реализуется функция, которая будет линейно зависеть от изменяющего входного сигнала:

$$U_{\text{ВЫХ}} = k_0 a_x u_y(t) = k_1 u_y(t). \quad (2)$$

В настоящее время, несмотря на широкое применение цифровых устройств обработки информации, аналоговые интегральные микросхемы находят применение в различных электронных устройствах. Среди ИМС выделяется класс схем, выполняющих функции перемножения сигналов, – аналоговые перемножители. На данный момент производители используют следующие способы построения аналоговых перемножителей:

- перемножители логарифмического типа;
- перемножители на дифференциальных транзисторных парах.

Задача настоящей работы состоит в исследовании каждого из методов с целью выявления наиболее простого способа построения перемножителя, удовлетворяющего требованиям современной радиоаппаратуры.

2. ПЕРЕМНОЖИТЕЛИ ЛОГАРИФМИЧЕСКОГО ТИПА

Структурная схема перемножителя логарифмического типа показана на рис. 1. В данной схеме используются логарифмические и антилогарифмические усилители. Схема обеспечивает логарифмирование входных сигналов X и Y с их последующим суммированием и потенцированием (антилогарифмированием) этой суммы. В результате по законам логарифмирования получается сигнал, пропорциональный произведению двух входных сигналов [2].

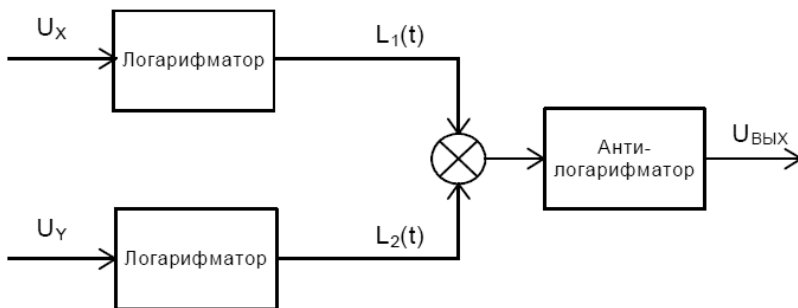


Рис. 1. Структурная схема логарифмического перемножителя

Для обозначений, принятых на рис. 1, имеем

$$\begin{aligned} L_1(t) &= k \ln U_x, \\ L_2(t) &= k \ln U_y. \end{aligned} \quad (3)$$

Тогда напряжение на выходе схемы

$$U_{\text{вых}} = ne^{kL_1(t)+kL_2(t)} = ne^{k \ln U_x U_y} = KU_x U_y, \quad (4)$$

где k – коэффициент, обусловленный особенностями работы логарифматора; $K = ne^k$ – конечный коэффициент, вносимый логарифматорами и антилогарифматорами.

В качестве логарифматоров / антилогарифматоров используют логарифмические свойства диодов. Вольт-амперную характеристику идеального логарифмического диода (рис. 2) можно описать следующим уравнением:

$$I = I_0(e^{qV/kT} - 1). \quad (5)$$

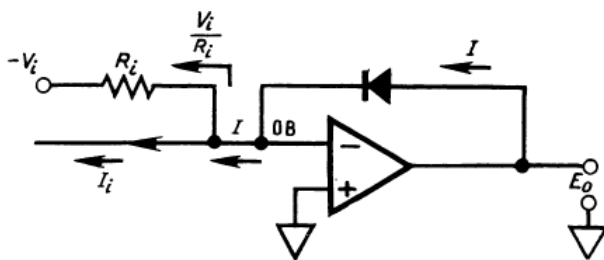


Рис. 2. Принципиальная схема логарифмического усилителя

При включении такого диода в цепь обратной связи ОУ напряжение на его выходе равно

$$E_0 = \frac{kT}{q} \ln \frac{I}{I_0} = \frac{kT}{q} \ln 10 \lg \frac{I}{I_0}, \quad I_0 \gg 1, \quad (6)$$

где q – постоянная, равная единице заряда $1,60219 \cdot 10^{-19}$ К; k – постоянная Больцмана, $1,38062 \cdot 10^{-23}$ Дж/К; T – абсолютная температура, 273 К; I_0 – экстраполированный ток.

К сожалению, для большинства диодов, выполненных в виде двухполосников, область логарифмической зависимости напряжения от тока ограничена. В области больших токов характеристика отклоняется от логарифмической из-за падения напряжения на объемном омическом сопротивлении [3]:

$$V = \frac{kT}{q} \ln \frac{I}{I_0} + IR_B. \quad (7)$$

В области малых токов происходит однократное или многократное изменение наклона характеристики за счет изменения коэффициента m ($1 \leq m \leq 4$):

$$V = m \frac{kT}{q} \ln \frac{I}{I_0}. \quad (8)$$

Отсюда следует, что обычные диоды не подходят для выполнения точных логарифмических операций в диапазоне одной-двух декад, несмотря на возможность создания схемы компенсации влияния объемного омического сопротивления.

К недостаткам такого типа перемножителей можно отнести низкое быстродействие, а также то, что входные напряжения не могут быть разнополярными. Кроме того, логарифмические свойства диодов не сохраняются в диапазоне более двух декад изменения тока, поэтому необходимо либо снижать динамический диапазон по входным сигналам, либо мириться с относительно большой погрешностью преобразования.

Моделирование перемножителя логарифмического типа показало, что минимальная погрешность перемножения наблюдается при напряжении от -1 до 1 В (рис. 3).

Динамический диапазон схемы (рис. 4) рассчитывается по формуле

$$D = 20 \lg \frac{U_1}{U_0}, \quad (9)$$

где U_1 – напряжение на выходе; U_0 – номинальное напряжение.

Как видно из рис. 5, напряжение на выходе при нулевых напряжениях на входах равно $1,728$ мВ. При подаче на входы перемножителя 1 В получаем выходное напряжение, равное $3,093$ В.

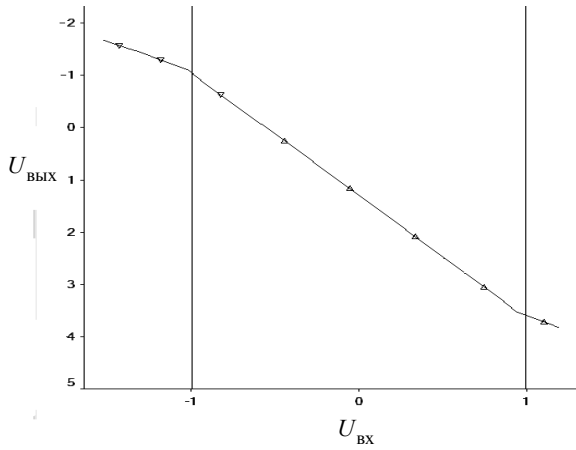


Рис. 3. Зависимость выходного напряжения от входного
 $U_{\text{ВЫХ}} = f(U_1)$ при $U_2 = \text{const} = 1 \text{ В}$

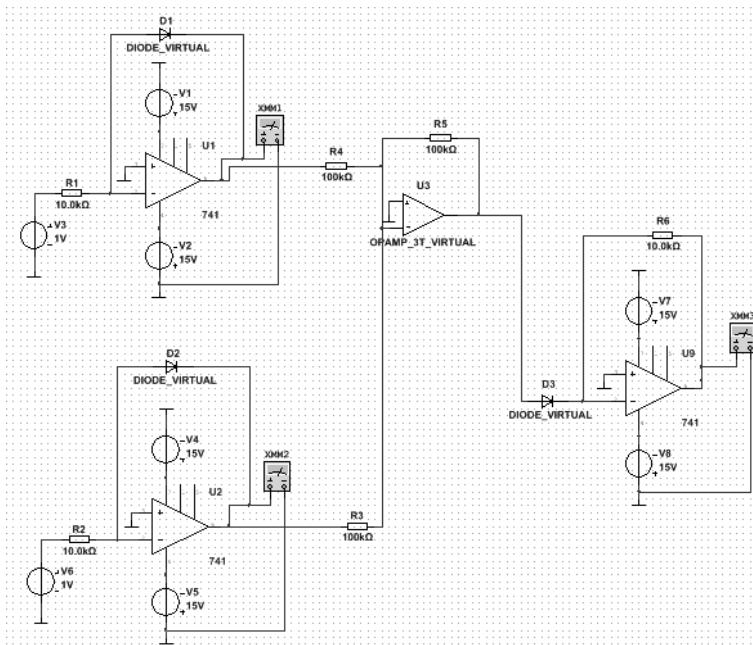


Рис. 4. Принципиальная схема перемножителя логарифмического типа

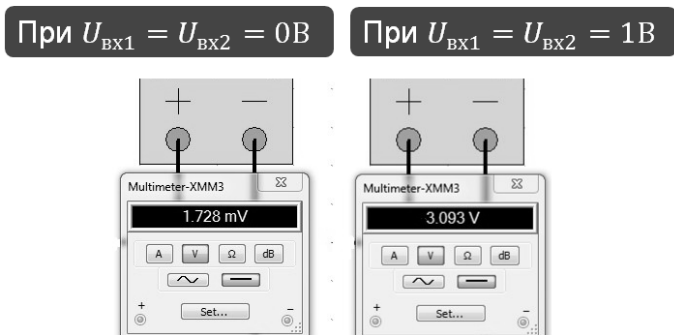


Рис. 5. Шум и полезный сигнал логарифмического перемножителя

Динамический диапазон перемножителя будет равен

$$D = 20 \lg \frac{U_1}{U_0} = 20 \lg \frac{3,093}{1,728 \cdot 10^{-6}} = 65 \text{ дБ.}$$

Значение динамического диапазона в 65 дБ является неплохим показателем, но не полностью соответствует современным требованиям.

3. ПЕРЕМНОЖИТЕЛИ НА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ТРАНЗИСТОРНЫХ ПАРАХ

Простейшей моделью перемножителя, построенного на дифференциальных транзисторных парах, является дифференциальный усилитель (рис. 6).

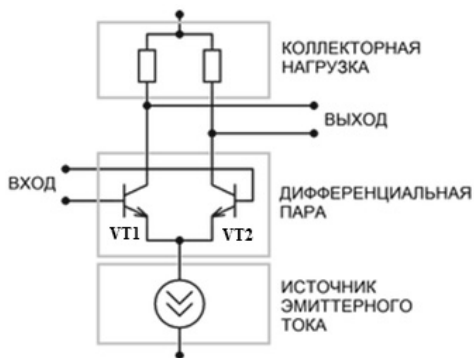


Рис. 6. Управляемый напряжением дифференциальный делитель тока

Данный метод обладает следующими преимуществами:

- 1) высокая точность перемножения (погрешность перемножения 0,25...2 %);
- 2) широкая полоса пропускания (до нескольких десятков мегагерц);
- 3) простота реализации в интегральном исполнении.

Однако простейшая модель перемножителя, созданного на основе данного метода (рис. 6), обладает рядом недостатков [4], к которым относятся:

- 1) невысокая температурная стабильность в сравнении с логарифмическими перемножителями;
- 2) возможность работы только в двух квадрантах;
- 3) небольшой диапазон входных сигналов (напряжение U_x не должно превышать несколько милливольт).

Невысокая температурная стабильность обусловлена зависимостью характеристик транзисторов от температуры. Однако использование в дифференциальном каскаде идеально подобранной пары интегральных транзисторов позволяет значительно уменьшить температурные погрешности данных перемножителей (дрейф погрешности может быть сведен к 0,01 % / °C).

Работа перемножителя лишь в двух квадрантах возникает по причине того, что эмиттерный ток I_0 не может быть отрицательным. Коллекторные токи симметричного дифференциального усилителя на основе равенств и при условии идентичности транзисторов могут быть представлены в виде

$$I_1 = \frac{I_0}{2} \left(1 + th \frac{U_x}{2\varphi_T} \right),$$

$$I_2 = \frac{I_0}{2} \left(1 - th \frac{U_x}{2\varphi_T} \right),$$
(10)

где I_1 и I_2 – коллекторные токи; I_0 – эмиттерный ток; th – гиперболический тангенс; $\varphi_T = mkT/q$ – температурный потенциал, равный 26 мВ при 300 К.

Тогда выходное напряжение дифференциального усилителя

$$U_z = -R_H(I_1 - I_2) = -R_H I_0 th \frac{U_x}{2\varphi_T},$$
(11)

где U_z – напряжение на выходе; R_H – сопротивление нагрузки.

При малых входных сигналах ($|U_x| \ll 2\varphi_T$) выходное напряжение U_z (параметр Z) дифференциального усилителя равно произведению входного напряжения U_x (параметр X) и управляющего тока I_y (параметр Y), т. е.

$$Z = k_1 XY \quad \text{или} \quad U_z = \frac{-R_H}{2\varphi_T} U_x I_0, \quad (12)$$

где $k_1 = -R_H / 2\varphi_T$ – масштабный коэффициент перемножителя.

Перемножитель, построенный на основе трех дифференциальных усилителей, каждый из которых также работает в режиме управляемого напряжения делителя тока (рис. 7), может умножать во всех четырех квадрантах [4].

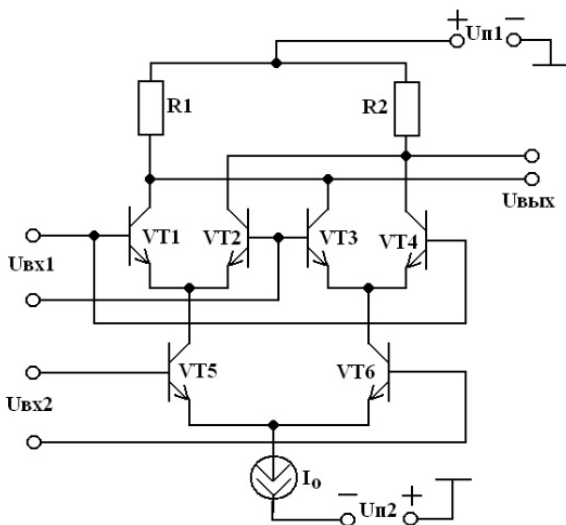


Рис. 7. Управляемый напряжением дифференциальный делитель тока на трех дифференциальных усилителях

Выходное напряжение данного перемножителя

$$U_z = -R_H I_0 \operatorname{th} \frac{U_x}{2\varphi_T} \operatorname{th} \frac{U_y}{2\varphi_T}. \quad (13)$$

Линейность таких перемножителей из-за гиперболической зависимости (13) ограничена малыми уровнями входных сигналов U_x и U_y . Если погрешность перемножения менее 1 %, то входные напряжения сравнимы с напряжением смещения нуля дифференциального усилителя.

На рис. 8 представлены характеристики выше приведенного перемножителя, полученные экспериментально.

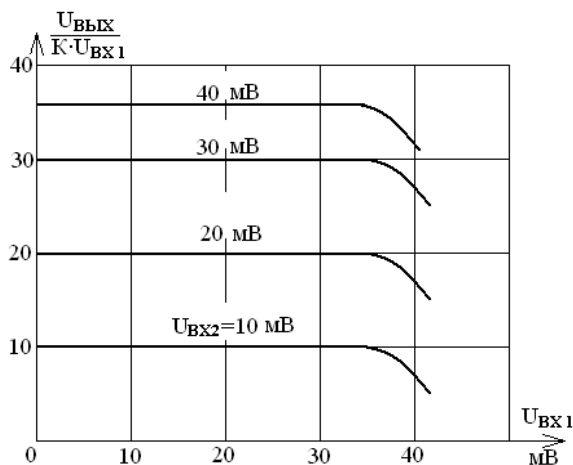


Рис. 8. Зависимость сигнала на выходе от входного сигнала

Как видно из рис. 8, при $U_{ВХ1} = 35$ мВ характеристика уже имеет нелинейный характер, так как ток коллектора нелинейно зависит от напряжения на базе. На практике это приводит к тому, что при перемножении гармонических сигналов кроме суммарной и разностной частот всегда имеются другие гармоники довольно значительной амплитуды.

Данный недостаток обусловлен использованием в качестве транзисторной пары биполярных транзисторов, что приводит к необходимости в использовании каскада предварительного искажения сигнала. Теория преобразования сигналов для качественного перемножения требует нелинейных элементов с квадратичной характеристикой. В наибольшей мере этому отвечают полевые транзисторы. В настоящей работе использован полевой транзистор (ПТ) отечественного производства с управляющим p - n -переходом и каналом n -типа – КП303А.

В области насыщения полевой транзистор удобно моделировать передаточной характеристикой – зависимостью тока стока I_c от напряжения затвор–исток $U_{з.и}$ при постоянном напряжении сток–исток $U_{с.и}$ [5]:

$$I_c = f(U_{з.и}) \text{ при } U_{с.и} = \text{const}, \quad (14)$$

где I_c – ток стока; $U_{з.и}$ – напряжение затвор–исток; $U_{с.и}$ – напряжение сток–исток.

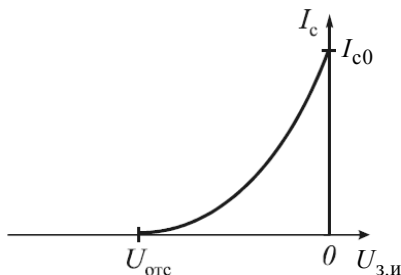


Рис. 9. Передаточная характеристика полевого транзистора с управляющим p - n -переходом и каналом n -типа

Передаточная характеристика n -канального полевого транзистора с управляющим p - n -переходом показана на рис. 9.

Передаточная характеристика полевого транзистора описывается уравнением

$$I_c = I_{c0} \left(1 - \frac{U_{з.и}}{U_{отс}} \right)^2, \quad (15)$$

где I_c – ток стока; I_{c0} – ток стока при $U_{з.и} = 0$; $U_{з.и}$ – напряжение затвор–исток; $U_{отс}$ – напряжение отсечки.

Как видно из уравнения (15), передаточная характеристика носит квадратичный характер. Эта особенность проходной характеристики используется в преобразователях частоты для уменьшения перекрестной модуляции и помех от гармоник гетеродина [6].

В биполярном же транзисторе передаточная характеристика (см. рис. 10) (зависимость тока коллектора от напряжения база–эмиттер $I_k(U_{б.э})$) имеет экспоненциальный характер:

$$I_k = I_{k0} e^{\frac{U_{б.э}}{\varphi_T}}, \quad (16)$$

где I_{k0} – тепловой ток коллекторного перехода; I_k – ток коллектора; $U_{б.э}$ – напряжение база–эмиттер; $\varphi_T = mkT/q$ – температурный потенциал, равный 26 мВ при 300 К; q – заряд электрона, равный $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл; T – абсолютная температура; m – постоянная, примерно равная единице; k – постоянная Больцмана, равная $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К.

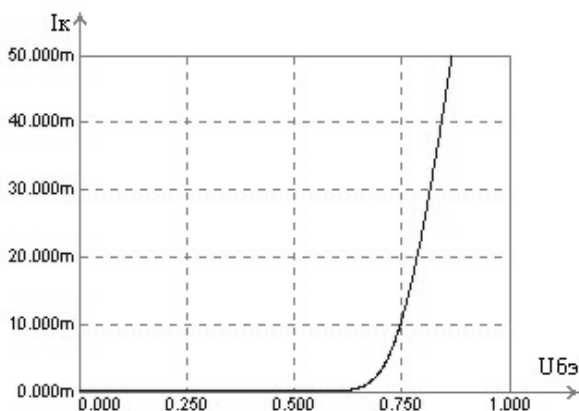


Рис. 10. Передаточная характеристика биполярного n - p - n -транзистора

Другими словами, линейный участок передаточной характеристики полевого транзистора гораздо шире, нежели у передаточной характеристики биполярного транзистора. Соответственно, гораздо шире диапазон входных напряжений, при котором будет сохраняться линейность характеристики $U_{\text{вых}} = f(U_1)$ при ($U_2 = \text{const}$).

Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод, что наиболее совершенный перемножитель должен быть построен на полевых транзисторах и содержать три дифференциальных каскада.

В качестве полевого транзистора был выбран КП303А с управляющим p - n -переходом и каналом n -типа.

Также важным параметром полевого транзистора является крутизна характеристики, определяемая как отношение приращения тока стока ΔI_c к приращению напряжения затвор-исток $\Delta U_{з.и}$:

$$S = \frac{\Delta I_c}{\Delta U_{з.и}} = \frac{dI_c}{dU_{з.и}}. \quad (17)$$

Крутизна полевых транзисторов с управляющим p - n -переходом может изменяться от 1...2 мА/В у маломощных приборов до единиц А/В у силовых транзисторов. Максимальное значение крутизна имеет при $U_{з.и} = 0$. С увеличением напряжения на затворе крутизна уменьшается и при $U_{з.и} = U_{\text{отс}}$ становится равной нулю [7, 8].

4. РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

С учетом всего вышеизложенного была смоделирована схема перемножителя, построенного на дифференциальных транзисторных парах, с использованием полевых транзисторов (рис. 11).

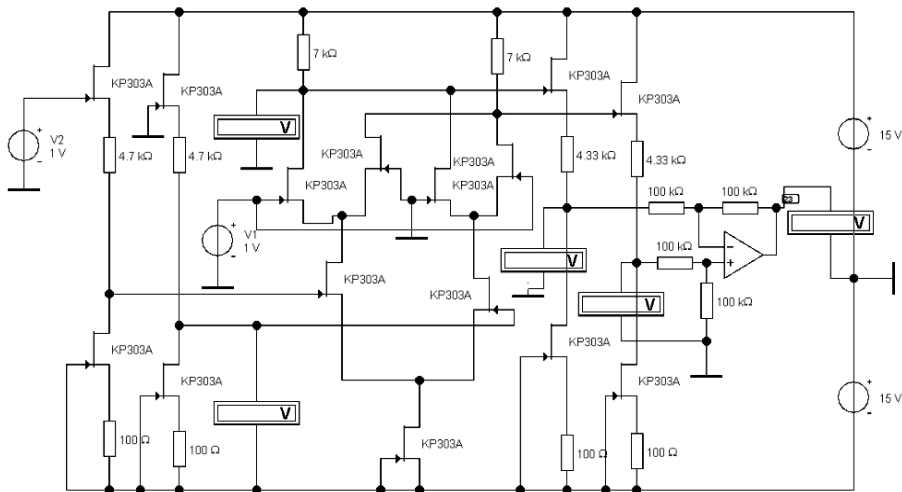


Рис. 11. Принципиальная схема перемножителя на дифференциальных транзисторных парах с использованием ПТ с управляющим $p-n$ -переходом

При идентичности транзисторов, используемых в схеме, мы можем добиться линейности характеристики $U_{\text{вых}} = f(U_1)$ при ($U_2 = \text{const} = 1 \text{ В}$) в диапазоне от $-0,5$ до $0,5 \text{ В}$ (рис. 12).

При подаче же больших напряжений на вход U_1 характеристика уже становится нелинейной (рис. 13).

В этом случае стоит прибегнуть к такому важному параметру полевого транзистора, как крутизна характеристики (17). К трем транзисторным парам от источника тока поступает ток стока I_{c0} , который соответствует самой верхней точке на передаточной характеристике (рис. 14), на нижнем каскаде ток становится равным $I_{c0} / 2$, а на верхних каскадах он и вовсе равен $I_{c0} / 4$. Соответственно и крутизна на уровнях должна быть разной. Выставляем на верхних каскадах $S = 0,0002 \text{ А/В}$, а на нижнем $S = 0,00025 \text{ А/В}$. Крутизну на источнике тока оставляем неизменной, т. е. равной $0,0005 \text{ А/В}$.

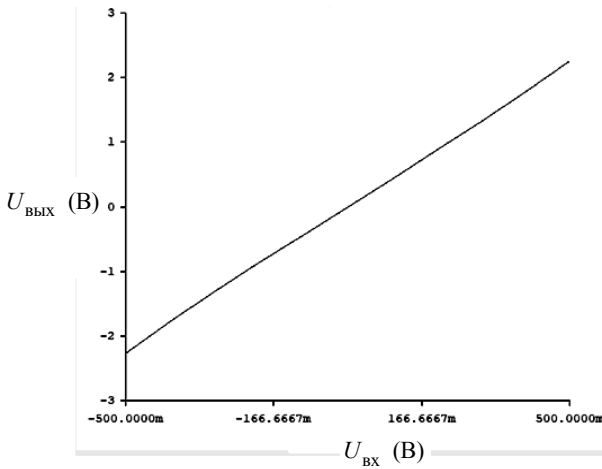


Рис. 12. Зависимость выходного напряжения от входного $U_{ВЫХ} = f(U_1)$ при $U_2 = \text{const} = 1$ В в диапазоне от -0,5 до 0,5 В

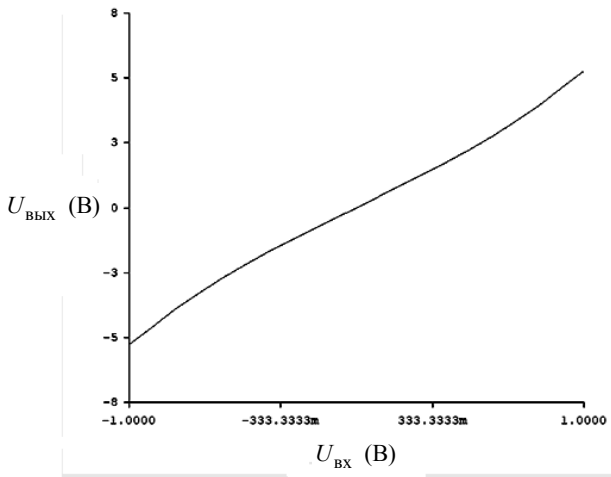


Рис. 13. Зависимость выходного напряжения от входного $U_{ВЫХ} = f(U_1)$ при $U_2 = \text{const} = 1$ В в диапазоне от -1 до 1 В

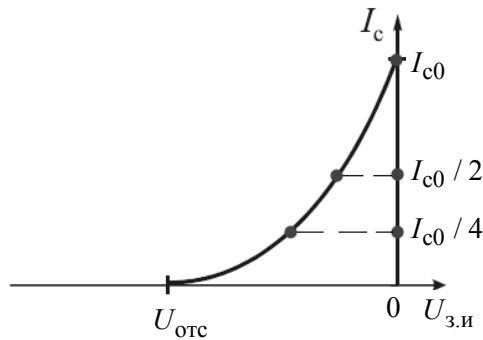


Рис. 14. Передаточная характеристика полевого транзистора с p - n -переходом и каналом n -типа

В итоге имеем линейную характеристику $U_{\text{ВЫХ}} = f(U_1)$ при $U_2 = \text{const} = 1 \text{ В}$ в диапазоне от -1 до 1 В (рис. 15).

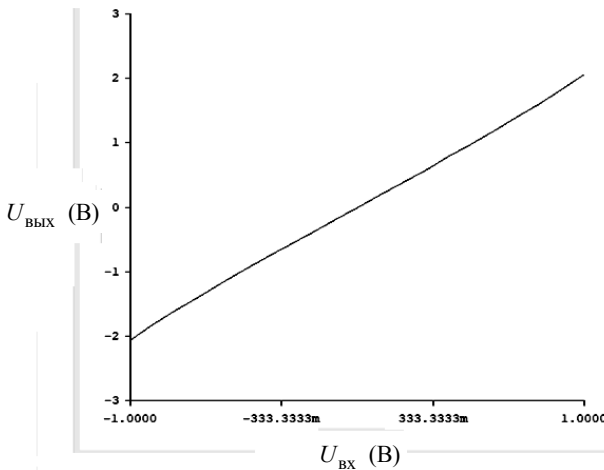


Рис. 15. Зависимость выходного напряжения от входного $U_{\text{ВЫХ}} = f(U_1)$ при $U_2 = \text{const} = 1 \text{ В}$ в диапазоне от -1 до 1 В

Как видно из рис. 16, напряжение на выходе при нулевых напряжениях на входах равно $47,27 \text{ мкВ}$. При подаче на входы перемножителя 1 В получаем выходное напряжение, равное $2,057 \text{ В}$.

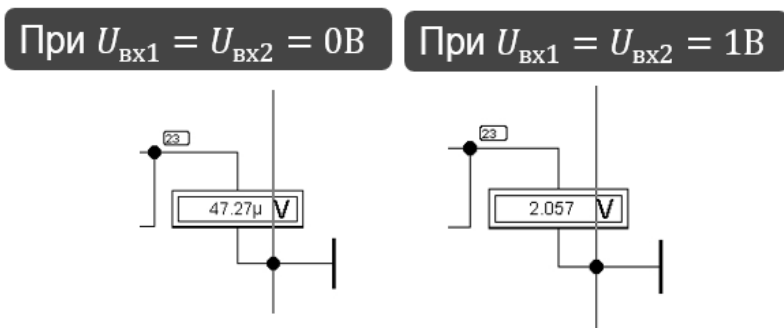


Рис. 16. Шум и полезный сигнал логарифмического перемножителя

Динамический диапазон перемножителя соответственно будет равен

$$D = 20 \lg \frac{U_1}{U_0} = 20 \lg \frac{2,057}{47,27 \cdot 10^{-6}} = 4,63 \cdot 20 = 92,6 \text{ дБ.}$$

Получаем динамический диапазон, превышающий 90 дБ, что удовлетворяет требованиям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный в настоящей работе метод позволяет обеспечить необходимые характеристики перемножителя и в дальнейшем использовать его в современной аппаратуре. Проведен сравнительный анализ методов построения интегральных перемножителей, применяющихся в настоящее время, и был определен наиболее удачный способ достижения высокого значения динамического диапазона, а именно способ построения на дифференциальных транзисторных парах. Выбор в его пользу был сделан по причине простоты реализации в интегральном исполнении и других многочисленных преимуществ. Также было произведено сравнение данного типа перемножителя на биполярных и полевых транзисторах. Подобраны идеальные параметры транзисторов, для динамического диапазона перемножителя. Предложенный подход может применяться при создании измерительных систем, радио-и звуковой аппаратуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Тимонтеев В.Н., Величко Л.М., Ткаченко В.А.* Аналоговые перемножители сигналов в радиоэлектронной аппаратуре: учебное пособие. – М.: Радио и связь, 1982. – 112 с.
2. *Старченко Е.И.* Аналоговые перемножители напряжения: монография. – Шахты: ЮРГУЭС, 2006. – 56 с.
3. Справочник по нелинейным схемам: Проектирование устройств на базе аналоговых функциональных модулей и интегральных схем: справочник / под ред. Д.Х. Шейнголда. – М.: Мир, 1977. – 529 с.
4. *Хоровиц П., Хилл У.* Искусство схемотехники: пер. с англ. – Изд. 2-е. – М.: БИНОМ, 2014. – 704 с.
5. *Титце У., Шенк К.* Полупроводниковая схемотехника. В 2 т. Т. 1. – М.: Додэка, 2008. – 827 с.
6. *Титце У., Шенк К.* Полупроводниковая схемотехника. В 2 т. Т. 2. – М.: Додэка, 2008. – 941 с.
7. *Борисенко А.Л.* Схемотехника аналоговых электронных устройств. Функциональные узлы: учебное пособие для вузов. – М.: Юрайт, 2019. – 126 с.
8. *Якубовский С.В.* Аналоговые и цифровые интегральные схемы: справочник. – М.: Советское радио, 2008. – 336 с.
9. *Шац С.Я., Ламекин В.Ф., Майборода А.Н.* Элементы теории операционных усилителей. Ч. 2 // Зарубежная радиоэлектроника. – 1979. – № 2. – С. 97–116.
10. *Babanezad J.N., Temes G.C.* A 20-V four-quadrant CMOS analog multiplier // IEEE Journal of Solid-State Circuit. – 1985. – Vol. 20 (6). – P. 1158–1168.
11. Микросхемы для бытовой радиоаппаратуры: справочник / И.В. Новаченко, В.М. Петухов, И.П. Блудов, А.В. Юровский. – М.: Радио и связь, 1989. – 383 с.
12. *Атаев Д.И., Болотников В.А.* Аналоговые интегральные микросхемы для бытовой радиоаппаратуры: справочник. – М.: Изд-во МЭИ, 1991. – 136 с.
13. *Волович Г.И.* Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. – М.: Додэка-XXI, 2005. – 530 с.
14. *Павлов В.Н.* Схемотехника аналоговых электронных устройств. – М.: Академия, 2008. – 288 с.

Уляшин Александр Федорович, магистрант кафедры полупроводниковых приборов и микроэлектроники Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – системы

обработки сигналов, измерительные устройства. Имеет 2 публикации. E-mail: ulyashin_2018@mail.ru

Величко Александр Андреевич, доктор технических наук, профессор кафедры полупроводниковых приборов и микроэлектроники Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – системы обработки сигналов, измерительные устройства. Имеет более 50 публикаций. E-mail: Velichko@amber.ref.nstu.ru

DOI: 10.17212/2307-6879-2021-1-21-41

Comparative analysis of analog parameters signal multipliers by differential transistor pairs*

A.F. Ulyashin¹, A.A. Velichko²

¹ *Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, master student of the department of semiconductor devices and microelectronics. E-mail: ulyashin_2018@mail.ru*

² *Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, professor of the department of semiconductor devices and microelectronics. E-mail: Velichko@amber.ref.nstu.ru*

This paper is devoted to the comparative analysis of modern integral variables. Today, a number of foreign companies, such as Texas Instruments and Analog Devices, produce analog signal multipliers (APS) in integrated design. Russian industry produces chips of the 525PS and 174HA series. Each manufacturer uses its own method of implementing the device. The main task of such devices is to calculate the current voltage, phase, exponential and transcendental functions. Wide applicability of APS in integrated design was found in devices for analog processing and conversion of signals of communication and radio equipment, in devices for automatic control of onboard and ground radio equipment. A very important characteristic of such equipment is the dynamic range. The dynamic range of the receiver is the range of input signal amplitudes that provide the required quality of reproduction of the received message. The lower limit of the dynamic range is determined by the level of internal noise or external interference in the device, and the upper limit is determined by the device's overload capacity. In this regard, manufacturers of multipliers are faced with the task of maximizing the voltage that can be applied to its inputs. The difficulty is that the upper limit of the dynamic range is set by non-linear distortions. The non-linearity of the multiplier is a component of the multiplication error and characterizes the limiting capabilities of the APS inputs. In this paper, a comparative analysis of the main types of integral multipliers offered on the market is carried out in order to identify the best construction method for achieving the value of the dynamic range of the multiplier in 90 dB with high multiplication accuracy, which will allow using such a multiplier in modern radio equipment.

* Received 14 December 2020.

Keywords: functional Converter, signal multiplier, dynamic range, signal / noise, multiplication accuracy, field-effect transistor, bipolar transistor, analog signal, telecommunication systems

REFERENCES

1. Timonteev V.N., Velichko L.M., Tkachenko V.A. *Analogovye peremnozhiteli signalov v radioelektronnoi apparature* [Analog multiplier products of signals in electronic apparatus]. Moscow. Radio i svyaz' Publ., 1982. 112 p.
2. Starchenko E.I. *Analogovye peremnozhiteli napryazheniya* [Analog voltage multipliers]. Shakhty, YuRGUES Publ., 2006. 56 p.
3. Sheingold D.H., ed. *Nonlinear circuits handbook: designing with analog function modules and IC's*. Norwood, MA, Analog Devices, inc., 1976 (Russ. ed.: *Proektirovanie ustroystv na baze analogovykh funktsional'nykh modulei i integral'nykh skhem: spravochnik*. Ed. by D.Kh. Sheingold. Moscow, Mir Publ., 1977. 529 p.).
4. Horowitz P., Hill U. *The art of electronics*. 2nd ed. New York, Cambridge University Press, 1998 (Russ. ed.: Khorovits P., Khill U. *Iskusstvo skhemotekhniki*. 2nd ed. Moscow, BINOM Publ., 2014. 704 p.).
5. Tittse U., Schenk K. *Poluprovodnikovaya skhemotekhnika*. V 2 t. T. 1 [Semiconductor circuitry. In 2 vol. Vol. 1]. Moscow, Dodeka Publ., 2008. 827 p. (In Russian).
6. Tittse U., Schenk K. *Poluprovodnikovaya skhemotekhnika*. V 2 t. T. 2 [Semiconductor circuitry. In 2 vol. Vol. 2]. Moscow, Dodeka Publ., 2008. 941 p. (In Russian).
7. Borisenko A.L. *Skhemotekhnika analogovykh elektronnykh ustroystv. Funktsional'nye uzly* [Circuitry of analog electronic devices. Functional nodes: a textbook for universities]. Moscow, Yurait Publ., 2019. 126 p.
8. Yakubovskii S.V. *Analogovye i tsifrovye integral'nye skhemy* [Analog and digital integrated circuits]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 2008. 336 p.
9. Shats S.Ya., Lamekin V.F., Maiboroda A.N. *Elementy teorii operatsionnykh usilitelei*. Ch. 2 [Elements of the theory of operational amplifiers. Pt. 2]. *Zarubezhnaya radioelektronika = Foreign radio electronics*, 1979, no. 2, pp. 97–116.
10. Babanezad J.N., Temes G.C. A 20-V four-quadrant CMOS analog multiplier. *IEEE Journal of Solid-State Circuit*, 1985, vol. 20 (6), pp. 1158–1168.
11. Novachenko I.V., Petukhov V.M., Bludov I.P., Yurovskii A.V. *Mikroskhemyy dlya bytvoi radioapparatury* [Microchips for household radio equipment]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1989. 383 p.

12. Ataev D.I., Bolotnikov V.A. *Analogovye integral'nye mikroskhemy dlya bytovoi radioapparatury* [Analog integrated circuits for household radio equipment]. Moscow, MEI Publ., 1991. 136 p.

13. Volovich G.I. *Skhemotekhnika analogovykh i analogo-tsifrovyykh elektronnykh ustroystv* [Circuitry of analog and analog-digital electronic devices]. Moscow, Dodeka-XXI Publ., 2005. 530 p.

14. Pavlov V.N. *Skhemotekhnika analogovykh elektronnykh ustroystv* [Circuitry of analog electronic devices]. Moscow, Akademiya Publ., 2008. 288 p.

Для цитирования:

Ульяшин А.Ф., Величко А.А. Сравнительный анализ методов построения интегральных перемножителей сигналов // Сборник научных трудов. – 2021. – № 1 (100). – С. 21–41. – DOI: 10.17212/2307-6879-2021-1-21-41.

For citation:

Ulyashin A.F., Velichko A.A. Sravnitel'nyi analiz metodov postroeniya integral'nykh peremnozhitel' signalov [Comparative analysis of analog parameters signal multipliers by differential transistor pairs]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2021, no. 1 (100), pp. 21–41. DOI: 10.17212/2307-6879-2021-1-21-41.

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДПОДГОТОВКИ ОПТИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ОПТИЧЕСКИХ ТРАНСИВЕРОВ*

А.А. КАШТАНОВ¹, М.Е. ПАЖЕТНОВ², Е.С. КОПТЕВ³

¹ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, магистрант кафедры защиты информации. E-mail: kashtanov.alex@inbox.ru

² 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, аспирант кафедры автоматизи. E-mail: miha4250@gmail.com

³ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры защиты информации. E-mail: koptev@corp.nstu.ru

В процессе создания современного производства необходимо сводить брак, связанный с человеческим фактором, к нулю посредством уменьшения количества операций, проводимых людьми, и нивелируя ошибки, которые может допустить человек. Так, одним из решений данной задачи является создание роботизированных систем, в которых все операции совершаются без каких-либо вмешательств оператора. Для контроля выполнения операций робототехнической системой в некоторых случаях возможно использование различных датчиков и сенсоров, но иногда это получается слишком дорого и сложно, потому в работе авторов продемонстрирована реализация контроля над автоматикой, реализованной при помощи систем компьютерного зрения. Также в работе проведена аналогия между компьютерным зрением и физическими датчиками на примере решения той задачи, которая стояла перед авторами.

Ключевые слова: автоматизация производства, компьютерное зрение, моделирование, управление производством

ВВЕДЕНИЕ

При использовании любой современной оптоволоконной технологии или организации любого оптического соединения для передачи данных необходимы специализированные оптические трансиверы. Главной их задачей является преобразование электрического сигнала в оптический. В каждом из таких

* Статья получена 04 декабря 2020 г.

трансиверов ключевыми компонентами являются оптический лазер (передатчик данных) и фотоприемник (приемник данных). Методика включения в оптическую сеть выглядит следующим образом: оптоволоконный коммутационный шнур устанавливается в оптический трансивер, сам трансивер устанавливается в свободный оптический порт коммутатора, далее к коммутатору присоединяются потребители (компьютеры, планшеты и телефоны). Сегодня на рынке представлено разнообразие оптических трансиверов, отличающихся по характеристикам [1, 2]. Немаловажно дать описание и характеристику той продукции, производство которой требуется автоматизировать.

Главным отличием всех модулей друг от друга является форм-фактор. Это обусловлено тем, что более сложные схемотехнические решения на определенном этапе развития технологий невозможно разместить на плате малого размера. Температура работы, большой размер компонентов, нехватка элементной базы и дороговизна существенно влияют на размеры и задают стандарты в разработке трансиверов. Но с течением времени технологии развиваются, и это развитие позволяет делать трансиверы более компактными и производительными. Сейчас самым популярным форм-фактором является SFP+, он представляет собой компактный приемопередатчик с возможностью горячей замены (не выключая устройство) оптического модуля, используемый как для телекоммуникаций, так и для передачи больших объемов данных. Форм-фактор и набор электрических интерфейсов определяются международным соглашением с несколькими источниками (MSA) под эгидой Комитета по малому форм-фактору.

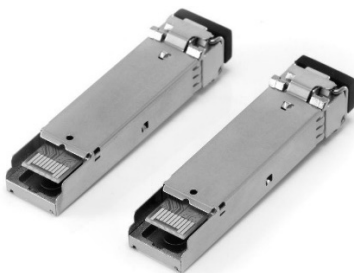


Рис. 1. Трансиверы форм-фактора SFP и SFP+

На плате модуля кроме самого излучателя и фотодетектора находятся электронные схемы, обеспечивающие токи накачки излучателя, преобразование в линейный код данных, смещение на фотодетекторе, термостабилизацию и многое другое, что кратко представлено на рис. 2.

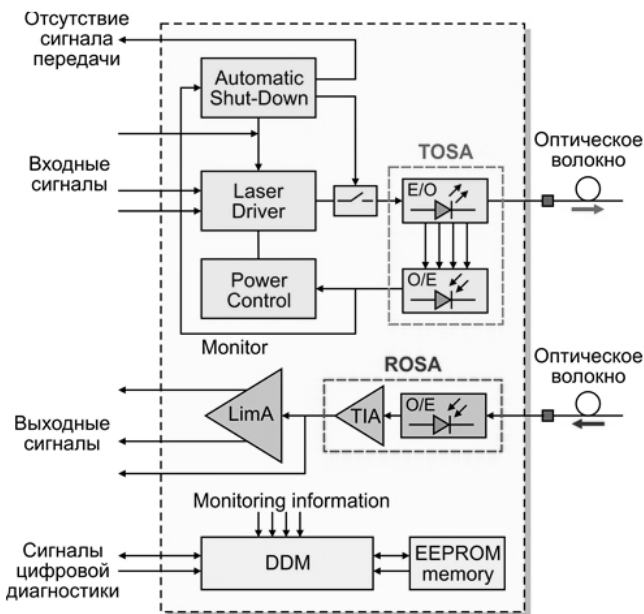


Рис. 2. Структурная схема сменного оптического трансивера:

TIA – трансимпедансный усилитель; LimA – ограничивающий усилитель; DDM – цифровой модуль диагностики; EEPROM – постоянное запоминающее устройство с параметрами модуля; O/E – оптоэлектронный преобразователь; E/O – электронно-оптический преобразователь

В настоящей работе будут рассмотрены разработка автоматки для производства оптических трансиверов типа SFP.

При формировании скорости передачи данных важно учитывать тип волокна, от которого зависит определенный тип лазерных диодов. Для передачи на различные расстояния от десяти до нескольких сотен километров на скорости от 1 до 10 Гбит/с используют одномодовые технологии на разных длинах волн, от 1310 до 1550 нм. Также такие OSA используются при производстве CWDM. EML-системы используются там, где применим узкий спектр. Это очень важно на больших скоростях передачи данных (от десяти до ста Гбит/с) на большие расстояния. Такие системы очень дорогие по причине возникновения необходимости устранения искажений из-за существенной хроматической дисперсии. Корпусировка лазеров должна способствовать реализации общетехнических требований к устройствам оптических приемопередатчиков:

повышение надежности и долговечности, уменьшение стоимости. Критичны и оптические характеристики: излучаемая мощность, спектр излучения, диаграммы направленности, температурная стабильность.

1. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКОВ

Лазеры в корпусе называются sub-assembly, т. е. «предсобранные». Соответственно TOSA (transceiver optical sub-assembly) – оптический узел приемопередатчика, ROSA (receiver optical sub-assembly) – оптический узел приемника, а BOSA (bidirectional optical sub-assembly) – двунаправленный оптический узел.



Рис. 3. TOSA, ROSA и BOSA (слева направо)

TOSA состоит из лазерного диода, оптического интерфейса, монитора-фотодиода и стеклянного или металлического корпуса. В зависимости от требуемой функциональности и области, в которой он будет применен, могут присутствовать и другие компоненты, такие как фильтрующие элементы и различные изоляторы. Такой компонент используется для приема и преобразования сигнала в оптический сигнал.

ROSA состоит из лазерного фотодиода, оптического интерфейса и стеклянного или металлического корпуса. В зависимости от требуемой функциональности и области, в которой он будет применяться, могут присутствовать и другие компоненты, такие как усилители и фильтры. Он используется для получения оптического сигнала от оптоволокна и преобразования его в электрический сигнал.

На производство TOSA и ROSA поступают в палетках, в которых расположены по порядку, с длинными ножками выводов. Для их использования в небольших модулях типа SFP/SFP+ необходима максимальная экономия места. Поэтому ножки выводов должны быть значительно меньше.

Нами была разработана автоматизированная система подготовки оптических компонентов (рис. 4).

Первым этапом является обрезка лишних контактов. Для этого роботизированный механизм должен взять из палетки один приемопередатчик и вставить его в специальный паз в устройстве для обрезки лишних контактов. После срабатывания датчика индуктивности, гарантирующего плотное установление в устройство обрезки, срабатывают гидравлические гильотинные ножницы, которые под давлением 5 атмосфер обрезают лишние контакты.

После того как контакты обрезаны и это подтверждено информацией с датчика индуктивности, роботизированный механизм забирает готовый оптический приемопередатчик для установки на плату групповой заготовки (ПГЗ).

Главной проблемой, с которой мы столкнулись, является сложность позиционирования TOSA относительно отрицательного контакта. Из пяти контактов на ПГЗ всегда помечен контакт минусовой меткой, выдавленной рядом с ним. На ПГЗ установка элементов оптического приемопередатчика должна быть в строго определенном порядке. Никакими датчиками из рассмотренного варианта воспользоваться нам не удалось.

Для того чтобы применить автоматизированную систему напайки контактов, можно использовать различные датчики, в том числе чувствительную иглу для определения типа TOSA, лазерный дальномер и другие физические датчики, как и на аналогичных предприятиях в Китае и США. Однако возникают проблемы, поскольку необходимо следующее:

- 1) физический контакт с TOSA требует большой точности и может оказывать воздействие на компонент;
- 2) низкая надежность;
- 3) не всегда TOSA бывают одинаковых типов.

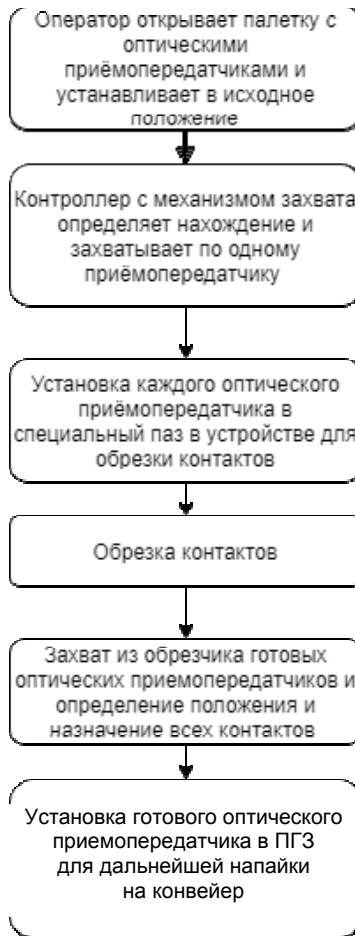


Рис. 4. Блок-схема системы подготовки оптических компонентов

Как было сказано выше, физически определять положение достаточно ресурсоемко. Поэтому было принято решение разрабатывать программу на основе компьютерного зрения для нахождения меток и координирования оптических приёмопередатчиков.

2. КОМПЬЮТЕРНОЕ ЗРЕНИЕ

В современных робототехнических системах многие датчики удалось заменить компьютерным зрением. Такие задачи, как езда производственных роботов по линии, обнаружение отсутствия необходимой экипировки специалистов на производстве, распознавание наличия дефектов у детали, решаются без большого количества дорогих датчиков при помощи компьютерного зрения.

Компьютерное зрение позволяет выполнить следующие задачи: идентификацию, обнаружение, распознавание. В общем широком смысле машинное зрение повторяет композицию зрения человека. Типовое решение системы машинного зрения включает в себя несколько следующих компонентов:

- 1) одна или несколько цифровых или аналоговых камер с подходящей оптикой для получения изображений;
- 2) программное обеспечение, являющееся сводом правил или дорожной картой расчетов;
- 3) процессор – вычислительная единица, которая с использованием программного обеспечения, сегментируя видеопоток, обрабатывает изображения.

3. ЗАДАЧА ИДЕНТИФИКАЦИИ

При распознавании TOSA и определении его ориентации (положения) необходим какой-либо ключевой компонент, или признак, позволяющий рассчитать угол поворота, на который нужно повернуть обрабатываемый оптический компонент. При изучении этого вопроса было установлено, что TOSA имеют технологический отлив на тыльной части между пинами контакта. В результате обнаружение положения технологического отлива затрудняется наличием самих пинов, что накладывает дополнительную нагрузку на элементы физического расположения компонентов. Поэтому разрабатываемая система должна распознавать текущее расположение компонентов, вычислять необходимый угол их прикрепления к ПГЗ [3]. Для фотосъемки нами была установлена специализированная макрокамера. Также пришлось интегрировать в общий механизм крепления камеры два небольших источника света для стабилизации контрастности и яркости изображения и сокращения влияния окружающей среды на разрабатываемую систему.

Важно отметить, что одной из серьезных проблем машинного зрения является выбор методов обработки изображений. На эту трудоемкую часть задачи машинного зрения уходит огромное количество вычислительных ресур-

сов. В рамках задачи обнаружения объектов, а точнее фильтрации изображения, выделяют следующие операции:

- 1) эрозия – уменьшение или сужение объекта бинарного изображения;
- 2) расширение – увеличение объекта переднего плана бинарного изображения;
- 3) остальные разновидности двух базовых морфологических преобразований над бинарными изображениями.

Существует огромное количество методов обработки изображения, и для их выполнения требуются огромные вычислительные ресурсы, что значительно замедляет принятие решения, накладывает ограничения на использование оборудования и, следовательно, увеличивает конечную стоимость системы [4].

Однако в рамках окружающей среды разрабатываемой системы предлагается не использовать связку многочисленных морфологических преобразований. Предлагается использовать прием, который хорошо известен в киноиндустрии. Имеется в виду возможность использовать однотонный фон, напротив которого будет устанавливаться оптический компонент. Однако в качестве рекомендации можно установить правильное перпендикулярное освещение, которое позволит выделить точку технологического отлива. Тем самым с использованием макрокамеры можно вычислять положение точки на компоненте, определять необходимый градус поворота, осуществлять трансформацию положения и фиксировать TOSA для дальнейшей доработки ее системой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе была рассмотрена возможность установки физических датчиков на систему автоматизированной обрезки пинов оптических передатчиков и описаны проблемы, с которыми приходится сталкиваться при использовании датчиков положения TOSA. Также было предложено решение и приведены достоинства использования систем машинного зрения при разработке автоматизированных систем производства TOSA.

Разработанная нами система проходит финальные испытания и готовится к запуску на реальном производстве. Мы смогли значительно сократить стоимость и сложность конечного устройства при помощи использования компьютерного зрения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иванов А.Б.* Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения. – М.: Syrus Systems, 2010. – 663 с.
2. *Nakazawa M.* Telecommunications rides a new wave // *Photonics Spectra*. – 2016. – Vol. 30 (2). – P. 97–104.
3. *Эйххофф П.* Основы идентификации систем управления: оценивание параметров и состояния. – М.: Мир, 1975. – 680 с.
4. Novel autostereoscopic single-user displays with user interaction / К. Hopf, P. Chojecki, F. Neumann, and D. Przewozny // *Proceedings SPIE*. – 2006. – Vol. 6392. – P. 639207. – DOI: 10.1117/12.685881.
5. *Ong E., Bowden R.* A boosted classifier tree for hand shape detection // *Sixth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*. – Seoul, Korea (South), 2004. – P. 889–894. – DOI: 10.1109/AFGR.2004.1301646.
6. *Скляр О.К.* Современные волоконно-оптические системы передачи: аппаратура и элементы. – М.: Солон, 2016. – 237 с.
7. *Бакланов И.Г.* Методы измерений в системах связи. – М.: Эко-Трендз, 2016. – 195 с.
8. *Пажетнов М.Е., Каштанов А.А.* Разработка роботизированного беспилотного транспортного средства для задач сопровождения воздушного судна, оборудованного знаком (LED-экраном) "Follow me" // *Перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении: сборник научных статей 5-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, 14 февраля 2020 года*. – Курск, 2020. – С. 120–121.

Каштанов Александр Александрович, магистрант кафедры защиты информации Новосибирского государственного технического университета. E-mail: E-mail: kashtanov.alex@inbox.ru

Пажетнов Михаил Егорович, аспирант кафедры автоматике Новосибирского государственного технического университета. E-mail: miha4250@gmail.com

Коптев Евгений Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры защиты информации Новосибирского государственного технического университета. E-mail: koptev@corp.nstu.ru

DOI: 10.17212/2307-6879-2021-1-42-52

Development of an automated system for preparation of optical components for the production of optical transivers*

A.A. Kashtanov¹, M.E. Pazhetnov², E.S. Koptev³

¹ Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marx Prospekt, Novosibirsk, 630105, Russian Federation, undergraduate of the Department of Information Security. E-mail: kashtanov.alex@inbox.ru

² Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marx Prospekt, Novosibirsk, 630105, Russian Federation, postgraduate student of the Department of Automation. E-mail: miha4250@gmail.com

³ Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marx Prospekt, Novosibirsk, 630105, Russian Federation, candidate of technical sciences, associate professor of the department of information security. E-mail: koptev@corp.nstu.ru

In the process of creating modern production, it is necessary to reduce the marriage associated with the human factor to zero, by reducing the number of operations carried out by people, leveling the mistakes that a person can make. So one of the solutions to this problem is the creation of robotic systems in which all operations are performed without any operator intervention. To control the execution of operations by a robotic system, in some cases, it is possible to use various sensors and sensors, but sometimes it turns out to be too expensive and difficult, therefore, the authors demonstrated the implementation of control over automation implemented using computer vision systems. Also, in the work, an analogy is drawn between computer vision and physical sensors, using the example of solving the problem that the authors faced.

Keywords: production automation, computer vision, modeling, production management

REFERENCES

1. Ivanov A.B. *Volokonnaya optika: komponenty, sistemy peredachi, izmereniya* [Fiber optics. Components, transmission systems, measurements]. Moscow, Syrus Systems Publ., 2010. 663 p.
2. Nakazawa M. Telecommunications rides a new wave. *Photonics Spectra*, 2016, vol. 30 (2), pp. 97–104.
3. Eykhoff P. *System identification: parameter and state estimation*. London, John Wiley & Sons, 1974. 555 p. (Russ. ed.: Eikkhoff P. *Osnovy identifikatsii sistem upravleniya: otsenivanie parametrov i sostoyaniya*. Translated from English. Moscow, Mir Publ., 1975. 680 p.).
4. Hopf K., Chojecki P., Neumann F., Przewozny D. Novel autostereoscopic single-user displays with user interaction. *Proceedings SPIE*, 2006, vol. 6392, p. 639207. DOI: 10.1117/12.685881.

* Received 04 December 2020.

5. Ong E., Bowden R. A boosted classifier tree for hand shape detection. *Sixth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, Seoul, Korea (South), 2004, pp. 889–894. DOI: 10.1109/AFGR.2004.1301646.
6. Sklyarov O.K. *Sovremennyye volokonno-opticheskie sistemy peredachi: apparatura i elementy* [Modern fiber-optic transmission systems, equipment and elements]. Moscow, Solon Publ., 2016. 237 p.
7. Baklanov I.G. *Metody izmerenii v sistemakh svyazi* [Methods of measurements in communication systems]. Moscow, Eko-Trendz Publ., 2016. 195 p.
8. Pazhetnov M.E., Kashtanov A.A. [Development of a robotic unmanned vehicle for the tasks of tracking an aircraft equipped with a sign (LED screen) "Follow me"]. *Perspektivy razvitiya tekhnologii obrabotki i oborudovaniya v mashinostroenii: sbornik nauchnykh statei 5-i Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Prospects for the development of processing technologies and equipment in mechanical engineering], Kursk, 14 February, 2020, pp. 120–121. (In Russian).

Для цитирования:

Каштанов А.А., Пажетнов М.Е., Контев Е.С. Разработка автоматизированной системы подготовки оптических компонентов для производства оптических трансиверов // Сборник научных трудов. – 2021. – № 1 (100). – С. 42–52. – DOI: 10.17212/2307-6879-2021-1-42-52.

For citation:

Kashtanov A.A., Pazhetnov M.E., Koptev E.S. Razrabotka avtomatizirovannoi sistemy podgotovki opticheskikh komponentov dlya proizvodstva opticheskikh transiverov [Development of an automated system for preparation of optical components for the production of optical transivers]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2021, no. 1 (100), pp. 42–52. DOI: 10.17212/2307-6879-2021-1-42-52.

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕЙРОННЫХ РЕГУЛЯТОРОВ*

А.А. ВОЕВОДА¹, Д.О. РОМАННИКОВ²

¹ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, доктор технических наук, профессор кафедры автоматики. E-mail: ucit@ucit.ru

² 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматики. E-mail: dmitry.romannikov@gmail.com

Рассматривается применение нейронных сетей для синтеза систем регулирования. Приведены примеры синтеза систем регулирования с использованием методов обучения с подкреплением, при котором задействован вектор состояния. Обсуждается синтез нейронного регулятора для объектов с недоступным вектором состояния: 1) вариант с использованием нейронной сети с рекуррентными обратными связями; 2) вариант с использованием входного вектора ошибок, где каждая ошибка (кроме первой) поступает на вход нейронной сети, проходя через элемент задержки. К недостаткам первого способа относится то, что для такой структуры нейронной сети не удастся применить существующие методы обучения с подтверждением, и для обучения требуется использовать набор данных, полученный, например, от предварительно рассчитанного линейного регулятора. Структура нейронной сети, используемая во втором варианте, позволяет применить методы обучения с подкреплением, но в статье приводится утверждение и его доказательство, что для синтеза системы управления объектами с тремя и более интеграторами нейронная сеть без рекуррентных связей не может быть использована. Приведено применение вышеуказанных структур на примерах синтеза систем управления для объектов $1/s^2$ и $1/s^3$, представленных в дискретном виде.

Ключевые слова: нейронные сети, искусственный интеллект, преобразования, функция активации, pytorch, регуляризация, обучение

ВВЕДЕНИЕ

Применение нейронных регуляторов имеет ряд преимуществ по сравнению с классическими рассчитанными регуляторами. К таким преимуществам можно отнести возможность подстройки значений коэффициентов (обучение), что позволяет оптимизировать уже заданную структуру регулятора или

* Статья получена 11 декабря 2020 г.

синтезировать адаптивные системы, которые могут менять значения коэффициентов при изменении значений параметров объекта.

Построение нейронного регулятора является сложной задачей, которая заключается в выборе структуры нейронной сети, типов нелинейностей, начальных значений параметров процедуры оптимизации (обучения) и других параметров. Отдельная сложность обучения динамических объектов заключается в том, что процедура оптимизации при расходящемся процессе часто может не сходиться из-за расходящейся функции ошибки [1–16].

В статье исследуется применение различных нейронных структур, используемых для синтеза систем управления, для стабилизации динамических объектов, например $1/s^2$ и $1/s^3$.

1. СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА

Синтез системы управления будет рассмотрен на примере объектов $1/s^2$ и $1/s^3$, в которых для преобразования в дискретный вид необходимо заменить непрерывные интеграторы на дискретные с шагом дискретизации 0,05 секунды.

Рассмотрим процедуру синтеза нейронного регулятора с использованием векторов состояния объектов. В этом случае имеет смысл применять методы обучения с подтверждением (например, *Deep Deterministic Policy Gradient*) [10], так как вектор состояния однозначно определяет объект (состояние объекта в терминах марковского процесса). При этом на вход нейронной сети подается вектор состояния и уставка. Для обеспечения управления объектом в заданном диапазоне уставок рекомендуется использовать нелинейности с линейной частью, например, функции ограничителя, которые имеют вид $y = \{-1, x < -1; 1, x > 1; \text{иначе } x\}$, что обеспечивает нейронному регулятору поведение, близкое к симметричному. Применяя вышепредставленное для объекта $1/s^3$, получим переходный процесс на рис. 1. При этом используется нейронная сеть из четырех нейронов во входном слое (3 нейрона для вектора состояния и один для уставки), 3 нейрона с нелинейностью ограничителя в скрытом слое и один нейрон с функцией гипертангенса в выходном слое. При моделировании функция награды задавалась выражением $1 - \text{abs}(v - y)$, где v – ставка, y – выходное значение объекта, abs – функция модуля.

Представленный на рис. 1 переходный процесс содержит два графика: выход объекта y , который стабилизируется около уставки 1, и управление u , которое в установившемся режиме имеет значение, близкое к нулю.

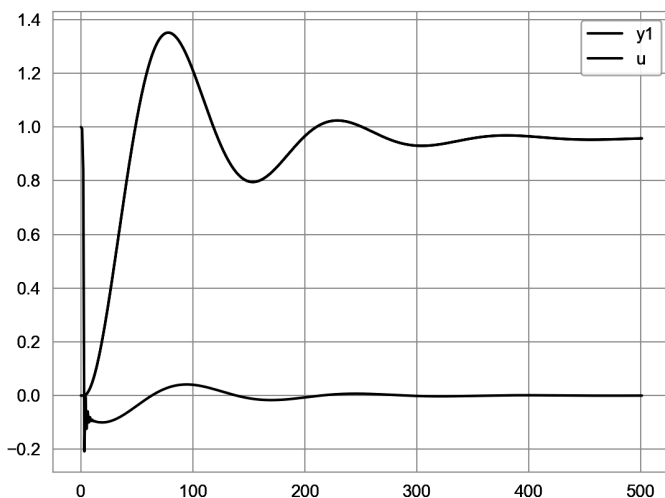


Рис. 1. График переходного процесса для объекта $1/s^3$ (при моделировании в дискретном виде) с нейронной системой управления и доступным вектором состояния (по оси x – шаги моделирования, один шаг равен 0,05 с)

Использование вектора состояния не всегда является возможным. При этом его отсутствие может быть решено различными способами (например, использованием наблюдателей для его оценки и в дальнейшем – использованием вектора оценки значений состояния, а не его реальных значений). Более предпочтительными являются системы регулирования, которые используют только сигнал ошибки. Далее рассмотрим использование нейронных сетей для синтеза регуляторов без использования вектор состояния.

При использовании только сигнала ошибки синтезировать регулятор можно несколькими способами, в частности, при помощи структурной схемы нейронной сети, представленной на рис. 2.

В структуре нейронной сети на рис. 2 на входной слой подается сигнал ошибки и сигналы с выходов для имитации блоков задержки в классическом регуляторе. Для обучения такой структуры нельзя применить алгоритмы обучения с подтверждением, так как состояние (или его оценка) неизвестно.

Другая возможная структура нейронной сети с использованием только сигналов ошибки показана на рис. 3.

В представленной на рис. 3 структуре на входной слой нейронной сети подаются сигналы ошибки. Причем на первый нейрон сигнал ошибки подает-

ся без задержек, а далее на последующие входные нейроны с возрастающей задержкой: на i -й нейрон поступает сигнал e/z^{i-1} .

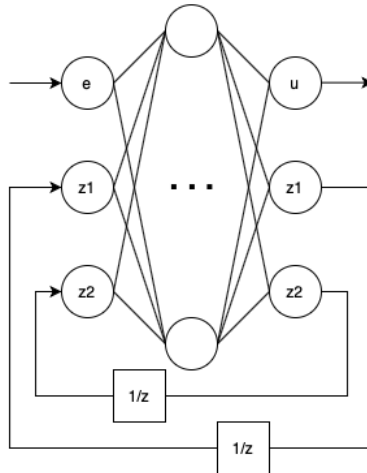


Рис. 2. Структура нейронной сети с рекуррентными связями

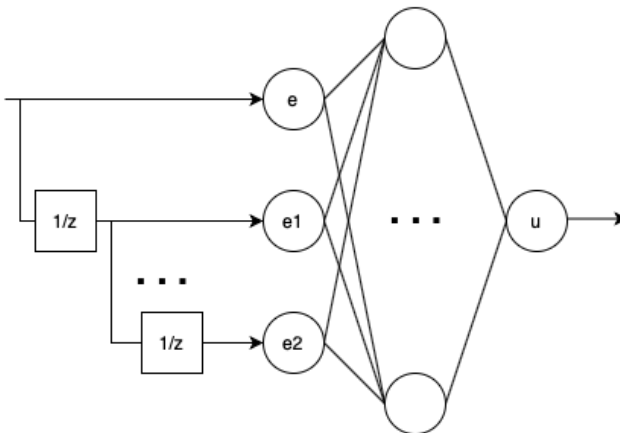


Рис. 3. Структура нейронной сети без рекуррентных связей

Гипотеза. Для синтеза системы управления объектами с тремя и более интеграторами нейронная сеть, структура которой представлена на рис. 3, не может быть использована, так как она не содержит рекуррентных связей.

Рассмотрим применение нейронной сети со структурой на рис. 3 к объекту $1/s^2$. В скрытом слое (четыре нейрона) применены нелинейные функции ограничителей (*hardtanh*), а в выходном слое (один нейрон) функция гипертангенса (*tanh*). Сформируем выражение для выходного значения. На вход нейронной сети подаются следующие значения:

$$e_0;$$

$$e_1 = \frac{1}{z} e_0;$$

$$e_2 = \frac{1}{z} e_1 = \frac{1}{z^2} e_0.$$

Для нейрона в скрытом слое значение формируется как

$$f(w_0 e_0 + w_1 e_1 + w_2 e_2),$$

где f – функция ограничителя; w_i – весовые коэффициенты; e_i – входные сигналы. Выходной сигнал нейронной сети вычисляется как

$$u = \tanh(w_{20} a_0 + w_{21} a_1 + w_{22} a_2) = \tanh\left(e_0 \left(a + b \frac{1}{z} + c \frac{1}{z^2}\right) + \dots\right),$$

где w_{2i} – весовые коэффициенты во втором слое; a_i – входные сигналы нейронов в скрытом слое; a, b, c – неизвестные коэффициенты нейронной сети; z – оператор Лапласа (дискретное преобразование).

Заменив функции f и \tanh на линейные, передаточные функции можно представить как

$$W_{\text{пер}}(z) = \frac{az^2 + bz + c}{z^2}.$$

Передаточная функция объекта имеет вид

$$W_{\text{об}}(z) = \frac{1}{(z-1)^2}.$$

Передаточная функция разомкнутой системы

$$W_{\text{раз}}(z) = W_{\text{рег}}(z)W_{\text{об}}(z) = \frac{az^2 + bz + c}{z^4 - 2z^3 + z^2}.$$

Получим характеристический полином замкнутой системы (ХПЗС)

$$z^4 - 2z^3 + z^2 + az^2 + bz + c,$$

представляющий собой выражение, в котором старшей степенью является четвертая с тремя свободными коэффициентами. Таким образом, исходя из полученного выражения ХПЗС в линейной системе, можно сделать вывод, что нейронной сети без обратных связей недостаточно для синтеза регулятора. Однако с практической точки зрения использование нелинейностей позволяет получить переходный процесс, приведенный на рис. 4.

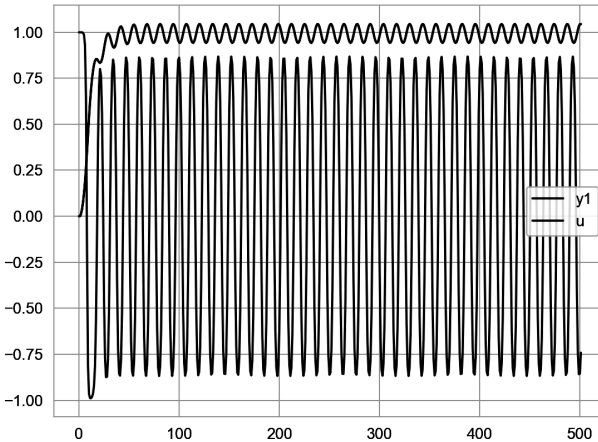


Рис. 4. График переходного процесса для объекта $1/s^2$ (при моделировании в дискретном виде) с нейронной системой управления, структура которой приведена на рис. 3 (по оси x – шаги моделирования, один шаг равен 0,05 с)

Переходный процесс (рис. 4) получен при помощи нейронного регулятора с тремя нейронами во входном слое, четырьмя нейронами с функцией активации ограничителя в скрытом слое и одним нейроном с функцией активации

гипертангенса в выходном слое. Для объекта $1/s^3$ практические эксперименты не дали положительного результата синтеза системы управления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье исследуются вопросы построения систем регулирования на нейронах на примерах объектов $1/s^2$ и $1/s^3$, представленных в дискретном виде. Рассмотрен вариант построения системы регулирования для объектов с доступным вектором состояния, при котором имеет смысл использовать методы обучения с подкреплением (в частности, в статье использован метод *Deep Deterministic Policy Gradient*). В результате синтезирован нейронный регулятор, позволяющий задавать уставку для регулирования объектом в заданном диапазоне.

Для объектов с недоступным вектором состояния обсуждается две структуры нейронной сети (с рекуррентными связями и без них). В статье приведено утверждение и его доказательство, что для синтеза системы управления объектами с тремя и более интеграторами нейронная сеть без рекуррентных связей не может быть использована.

Дальнейшим направлением исследования является применение других типов нейронов, в частности *LSTM* и/или *GRU*, для синтеза систем управления рассматриваемыми объектами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bishop C.* Pattern recognition and machine learning. – New York: Springer, 2007. – 738 p. – (Information science and statistics).
2. *Richert W., Coelho L.* Building machine learning systems with Python. – Birmingham: Packt Publ., 2013. – 290 p.
3. *Hastie T., Tibshirani R., Friedman J.* The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction. – 2nd ed. – New York: Springer, 2013. – 745 p. – (Springer series in statistics).
4. *Lantz B.* Machine learning with R. – Birmingham: Packt Publ., 2013. – 396 p.
5. *Mohri M., Rostamizadeh A., Talwalkar A.* Foundations of machine learning. – Cambridge, MA: MIT Press, 2012. – 432 p. – (Adaptive computation and machine learning series).
6. *Conway D., White J.M.* Machine learning for hackers. – Sebastopol, CA: O'Reilly, 2012. – 324 p.

7. Welcome to the Deep Learning tutorial. – URL: <http://deeplearning.stanford.edu/tutorial/> (accessed: 18.03.2021).
8. *Haykin S.* Neural networks: a comprehensive foundation. – New York: Mac-Millan Publ., 1994. – 1104 p.
9. *Романников Д.О.* О преобразовании сети Петри в нейронную сеть // Сборник научных трудов НГТУ. – 2016. – № 4 (86). – С. 98–103.
10. *Goodfellow I., Bengio Y., Courville A.* Deep learning. – Cambridge: MIT Press, 2016. – 800 p.
11. *Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G.E.* ImageNet classification with deep convolutional neural networks // Advances in Neural Information Processing Systems 25 (NIPS 2012). – Lake Tahoe, Nevada, 2012. – P. 1090–1098.
12. *Graves A., Mohamed A., Hinton G.* Speech recognition with deep recurrent neural networks // Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, ICASSP 2013. – Vancouver, Canada, 2013. – P. 6645–6649.
13. *Deng L., Hinton G.E., Kingsbury B.* New types of deep neural network learning for speech recognition and related applications: an overview // Proceedings of IEEE International Conference on Acoustic Speech and Signal (ICASSP). – Vancouver, BC, Canada, 2013. – P. 8599–8603. – DOI: 10.1109/ICASSP.2013.6639344.
14. *Воевода А.А., Романников Д.О.* Синтез нейронной сети для решения логико-арифметических задач // Труды СПИИРАН. – 2017. – Вып. 5 (54). – С. 205–223.
15. *Воевода А.А., Романников Д.О.* Синтез нейронной сети для реализации рекуррентного метода наименьших квадратов // Научный вестник НГТУ. – 2018. – № 3 (72). – С. 33–42. – DOI: 10.17212/1814-1196-2018-3-33-42.
16. *Воевода А.А., Шоба Е.В.* Стабилизация трехмассовой системы: модальный метод синтеза в пространстве состояний с наблюдателем пониженного порядка // Сборник научных трудов НГТУ. – 2010. – № 4 (62). – С. 13–24.

Воевода Александр Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры автоматки Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – управление многоканальными объектами. Имеет более 300 публикаций. E-mail: ucit@ucit.ru

Романников Дмитрий Олегович, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматки Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – нейронные сети, сети Петри. Имеет более 60 публикаций. E-mail: dmitry.romannikov@gmail.com

DOI: 10.17212/2307-6879-2021-1-53-63

On the use of neural regulators*

A.A. Voevoda¹, D.O. Romannikov²

¹Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, doctor of technical sciences, professor of the Automation Department. E-mail: ucit@ucit.ru

²Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, candidate of technical sciences, associate professor of the Automation Department. E-mail: dmitry.romannikov@gmail.com

The application of neural networks for the synthesis of control systems is considered. Examples of synthesis of control systems using methods of reinforcement learning, in which the state vector is involved, are given. And the synthesis of a neural controller for objects with an inaccessible state vector is discussed: 1) a variant using a neural network with recurrent feedbacks; 2) a variant using the input error vector, where each error (except for the first one) enters the input of the neural network passing through the delay element. The disadvantages of the first method include the fact that for such a structure of a neural network it is not possible to apply existing learning methods with confirmation and for training it is required to use a data set obtained, for example, from a previously calculated linear controller. The structure of the neural network used in the second option allows the application of reinforcement learning methods, but the article provides a statement and its proof that for the synthesis of a control system for objects with three or more integrators, a neural network without recurrent connections cannot be used. The application of the above structures is given on examples of the synthesis of control systems for objects $1/s^2$ and $1/s^3$ presented in a discrete form.

Keywords: neural networks, artificial intelligence, transformation, activation function, pytorch, regularization, training

REFERENCES

1. Bishop C. *Pattern recognition and machine learning. Information science and statistics*. New York, Springer, 2007. 738 p.
2. Richert W., Coelho L. *Building machine learning systems with Python*. Birmingham, Packt Publ., 2013. 290 p.
3. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. *The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction*. 2nd ed. *Springer series in statistics*. New York, Springer, 2013. 745 p.
4. Lantz B. *Machine learning with R*. Birmingham, Packt Publ., 2013. 396 p.

* Received 11 December 2020.

5. Mohri M., Rostamizadeh A., Talwalkar A. *Foundations of machine learning. Adaptive computation and machine learning series*. Cambridge, MA, MIT Press, 2012. 432 p.
6. Conway D., White J.M. *Machine learning for hackers*. Sebastopol, CA, O'Reilly, 2012. 324 p.
7. *Welcome to the Deep Learning tutorial*. Available at: <http://deeplearning.stanford.edu/tutorial/> (accessed 18.03.2021).
8. Haykin S. *Neural networks: a comprehensive foundation*. New York, Mac-Millan Publ., 1994. 1104 p.
9. Romannikov D.O. O preobrazovanii seti Petri v neironnuyu set' [The formation of the correlated noises]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2016, no. 4 (86), pp. 98–103.
10. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. *Deep learning*. Cambridge, MIT Press, 2016. 800 p.
11. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G.E. ImageNet classification with deep convolutional neural networks. *Advances in Neural Information Processing Systems 25 (NIPS 2012)*, Lake Tahoe, Nevada, 2012, pp. 1097–1105.
12. Graves A., Mohamed A., Hinton G. Speech recognition with deep recurrent neural networks. *Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, ICASSP 2013*, Vancouver, Canada, 2013, pp. 6645–6649.
13. Deng L., Hinton G.E., Kingsbury B. New types of deep neural network learning for speech recognition and related applications: an overview. *Proceedings of IEEE International Conference on Acoustic Speech and Signal (ICASSP)*, Vancouver, BC, Canada, 2013, pp. 8599–8603. DOI: 10.1109/ICASSP.2013.6639344.
14. Voevoda A.A., Romannikov D.O. Sintez neironnoi seti dlya resheniya logiko-arifmeticheskikh zadach [Synthesis of neural network for solving logical-arithmetic problems]. *Trudy SPIIRAN = SPIIRAS proceedings*, 2017, iss. 5 (54), pp. 205–223.
15. Voevoda A.A., Romannikov D.O. Sintez neironnoi seti dlya realizatsii rekurrentnogo metoda naimen'shikh kvadratov [Synthesis of a neural network for the implementation of the recursive leastsquares method]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2018, no. 3 (72), pp. 33–42. DOI: 10.17212/1814-1196-2018-3-33-42.
16. Voevoda A.A., Shoba E.V. Stabilizatsiya trekhmassovoi sistemy: modal'nyi metod sinteza v prostranstve sostoyanii s nablyudatelem ponizhenno go poryadka

[Stabilisation of three-mass system: a modal method of synthesis in state space with reduced-order observer]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* = *Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2010, no. 4 (62), pp. 13–24.

Для цитирования:

Воевода А.А., Романников Д.О. Об использовании нейронных регуляторов // Сборник научных трудов. – 2021. – № 1 (100). – С. 53–63. – DOI: 10.17212/2307-6879-2021-1-53-63.

For citation:

Voevoda A.A., Romannikov D.O. Ob ispol'zovanii neuronnykh regulyatorov [On the use of neural regulators]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* = *Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2021, no. 1 (100), pp. 53–63. DOI: 10.17212/2307-6879-2021-1-53-63.

СОВРЕМЕННЫЕ
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 519.24

DOI: 10.17212/2307-6879-2021-1-64-79

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В ПРОЦЕССЕ
АУДИТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ***

В.Ю. ДРОНОВ¹, Г.А. ДРОНОВА², В.М. БЕЛОВ³, Л.А. ГРИЩЕНКО⁴,
С.А. ЗЫРЯНОВ⁵

¹ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, старший преподаватель кафедры защиты информации. E-mail: dronov@corp.nstu.ru

² 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, старший преподаватель кафедры защиты информации. E-mail: g.dronova@corp.nstu.ru

³ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, доктор технических наук, профессор кафедры защиты информации. E-mail: v.m.belov@corp.nstu.ru

⁴ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры защиты информации. E-mail: zyryanov@corp.nstu.ru

⁵ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, ассистент кафедры защиты информации. E-mail: l.grishhenko@corp.nstu.ru

Согласно российским стандартам в области менеджмента информационной безопасности (ИБ), являющимся аутентичными международным стандартам, таким как [1, 2], организация на регулярной основе должна осуществлять внутренний аудит системы менеджмента информационной безопасности. Аудит – это независимая проверка и оценка деятельности организации путем анализа и оценки процессов, проектов, отчетности, продуктов. Аудит, как вид деятельности, не является статичным, неизменным, он эволюционирует. С точки зрения ведущих международных аудиторских компаний, в частности [3, 4], современный этап эволюции аудита – это переход от реактивности (выявление недостатков постфактум) к проактивности (предсказательность результатов действий или событий до их завершения). Верность утверждения для российского внутреннего аудита подтверждена итогами IX Национальной научно-практической конфе-

* Статья получена 12 декабря 2020 г.

ренности [5]. Движение к проактивности в аудите определяет актуальность следующих задач:

- 1) обработка до 100 % информации, порождаемой деятельностью, находящейся в фокусе внимания аудита;
- 2) обработка информации в режиме, близком к онлайн;
- 3) наличие мощного инструментария для анализа данных и моделирования на их основе дальнейшего развития исследуемых событий, а также обладание соответствующими навыками работы с ним у аудиторов.

При проведении проверок у аудитора возникает дилемма. С одной стороны, он обязан предоставить владельцам / акционерам / руководству организации данные, максимально приближенные к достоверному состоянию процессов менеджмента ИБ, информацию о выявленных недостатках и рекомендациях по их устранению. С другой стороны, время проверки жестко ограничено; выгрузка исходных данных из информационных систем организации занимает значительное время; получаемые из различных информационных систем и других источников данные имеют различные, не всегда стандартные форматы; используемый инструментарий имеет недостатки, поскольку наиболее часто используемые в работе электронные таблицы (MSExcel, LOCalc) в силу внутренних ограничений уже не в состоянии обеспечить требуемый функционал.

Вышеприведенные, а также другие факторы, например: нежелание сотрудничать, скрытое противодействие персонала проверяемой организации, оценка работы аудиторов только по количественным показателям (количеству наблюдений или по времени, затраченному на одно наблюдение) – указывают на то, что проверки осуществляются поверхностно. При этом недостатки в процессах менеджмента ИБ могут быть обнаружены, однако объяснить их природу и дать действенные рекомендации бизнесу аудитору становится затруднительно.

Как результат, определенная в ГОСТ ИСО/МЭК 27002–2012 цель независимых проверок – «обеспечение уверенности в сохраняющейся работоспособности, адекватности и эффективности подхода организации к менеджменту информационной безопасности» [2] – не может быть достигнута.

Одним из вариантов устранения некоторых из вышеназванных недостатков является применение в ходе аудиторских проверок программ, разработанных самими аудиторами и предназначенных для оперативной обработки данных, – так называемая «малая автоматизация». Подобный подход, хотя и является низовым звеном в цепи автоматизации аудиторских процедур, тем не менее находится в рамках парадигмы развития аудита в направлении роботизации процедур и применения искусственного интеллекта, о чем говорится, например, в работах [3, 6, 7], а также подтверждается результатами конференций института внутренних аудиторов [8].

Ключевые слова: аудит, аудит информационной безопасности, информационная безопасность, автоматизация, Python

1. ОПИСАНИЕ ЗАДАЧИ

Современная система управления ИБ базируется на перечне организационно-технических требований ИБ, иногда называемых, например, «состав и содержание мер по обеспечению безопасности» (ОТТ). ОТТ для удобства обычно представляются в виде таблиц. В качестве иллюстрации можно привести соответствующие стандарты по ИБ-NISTSP 800-53 «Security and Privacy Controls for Federal Information Systems and Organizations» [10], а также ГОСТ Р 57580.1–2017 «Национальный стандарт Российской Федерации. Безопасность финансовых (банковских) операций. Защита информации финансовых организаций. Базовый состав организационных и технических мер» [11], либо документы государственного регулятора в лице Федеральной службы по техническому и экспертному контролю: Приказ от 25.12.2017 № 239 «Об утверждении требований по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» [12], Приказ от 18.02.2013 № 21 «Об утверждении состава и содержания организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных» [13]. ОТТ организаций часто формируются в аналогичном виде.

В качестве примера приведем оценку степени выполнения одного из требований – «Защита от вредоносного кода» – некоей организации в его простейшем варианте: «на всех компьютерах должно быть установлено и функционировать актуальное антивирусное ПО» с помощью небольшой программы собственной разработки.

При стандартном подходе по запросу аудитора ИТ-служба должна предоставить актуальную информацию о составе компьютеров, ИБ-служба – актуальные отчеты АВПО. Сравнение перечней компьютеров в полученных от ИТ и ИБ данных иногда приводит к «странному» результату: они не совпадают! Если же дополнительно провести простейшее сканирование сети на предмет обнаружения активных хостов, например, с помощью команды `ping`, то можно получить еще более интересный результат: все три массива, назовем их SCCM, AV и Scan, не просто не совпадают, но и имеют значительные расхождения.

Инструментом «малой автоматизации» выбран язык программирования Python 3, являющийся очень простым для изучения, удобным для разработки и отладки ПО (особенно при использовании Jupyter notebook из пакета Anaconda), имеющий большое количество разработанных библиотек и пакетов по различным направлениям обработки информации и ее анализа. Кроме того, необходимо отметить его кросс-платформенность и возможность создавать исполняемые файлы для рабочих мест, не имеющие установленного Python.

2. РЕАЛИЗАЦИЯ

Программа «малой автоматизации» аудиторской процедуры оценки степени выполнения требования «Защита от вредоносного кода» помимо стандартных модулей загрузки библиотек, определения переменных и функций состоит из модулей подсказки, подготовки команд сканирования сети, обработки и сохранения результатов сканирования, анализа результатов.

Ниже приведено краткое описание отдельных модулей программы в виде поэтапного выполнения.

Этап 1. Подготовка данных для сканирования

Исходные данные представлены в виде файла электронных таблиц (MSExcel или LOCalc) и включают перечень подсетей, которые будут подвержены исследованию. В табл. 1 представлена часть перечня, выгруженная из SCCM. Для анализа достаточны только IP-адрес подсети и маска. С целью минимизации работы в качестве индикатора выбора подсети принято решение использовать цвет заголовка: аудитор устанавливает цвет шрифта заголовка, а затем помечает интересующие подсети тем же цветом.

Таблица 1

Перечень выбранных подсетей

Подсети IP	Маска IP-подсети
10.100.0.0	24
10.100.100.0	24
10.100.104.0	24
10.100.106.0	24
10.100.110.0	24
10.100.111.0	24
10.100.112.0	25
10.100.113.0	24

Этап 2. Запуск сканирования

При запуске программы производится загрузка библиотек, определение констант и функций. Поскольку программа универсальна для Linux и Windows, то на этапе загрузки определяются тип ОС и строки стандартных команд `fping` для них:

```
...
importos
importre# необходим для поиска цифр в строке
```

```

import chardet # работа с разными кодировками текста
import ipaddress # работа с IP-адрессами
...
from sys import platform # определениетипаОС
if platform == "linux" or platform == "linux2":
    workPath = "/root/Python/Pinger" # Linux
    OS = 'Linux'
elif platform == "win32":
    workPath = "C:\\Python\\Pinger\\" # Windows
    OS = 'Windows'
.....
Cmd1 = "fping -Adegs " # команда для Linux версии
Cmd2 = "fping -A -n 1 -f -g " # команда для Windows версии
...
def ipCorrect(sIP, msk): # обработка IP-адресов
    ipNet, ipSubNet, ipSSubNet, ipAdr = sIP.split('.')
    ipm = int(msk); ipl = 32 - ipm; ipcorr = 2**ipl
    ipn = int(ipAdr); ipn = ipn + ipcorr
    if ipn >= 255:
        ipn = 255
    iptext = ipNet + '.' + ipSubNet + '.' + ipSSubNet + '.' +
str(ipn)
    returniptext

```

Этап 3. Подсказка

Для информирования пользователя о работе с программой соответствующая информация собрана в отдельный файл и в случае необходимости выводится на экран в модуле подсказки. Сложность работы с подсказкой в необходимости определения кодировки файла подсказки для различных ОС:

```

print('Нужна помощь (y)?')
yes = input()
if yes == 'y' or yes == 'Y':
    fnHlp = r'fping.help.txt'
    helphandle = open(fnHlp, 'rb')
    helpdata = helphandle.read()
    result = chardet.detect(helpdata)
    charenc = result['encoding']
    helphandle.close()

    helphandle = open(fnHlp, 'rt', encoding = charenc)
    for line in helphandle.readlines():
        print(line)
    helphandle.close()

```

Этап 4. Подготовка команд

Командный модуль предназначен для создания массива команд сканирования по выбранным подсетям. Каждая команда осуществляет вывод результатов в отдельный текстовый файл.

Команда формируется совокупностью одной из переменных – Cmd1 или Cmd2 (в зависимости от ОС) – и добавлением IP, соответствующего по цвету заголовку перечня подсетей, и его маски. Предварительно IP и маска проверяются на наличие ошибок (IP неправильного формата, маска не число или число вне пределов от 24 до 32). Перечень команд с параметрами размещается в списке netCtrl:

```
# проверка формата маски
msk = re.findall(r'\b\d+\b', str(ws.cell(x,2).value))
maska = int(*msk);
if maska <= 0 or maska > 32:
    if maska < 24:
        maska = 24
...
# проверяем IP
IP = str(ws.cell(x,1).value); IP2 = IP
ipNum = int(ipaddress.ip_address(IP))
try:
    flag = True
except:
    flag = False # print("Неправильный IP")
...
# определяемся
if flag == True:
    # имя файла для результата сканирования одной командой
fileName = commandTime + "--" + IP + "@" + stMaska + ".txt"
    if OS == 'Linux':
        Command = Cmd1 + " " + IP + "/" + str(maska) + "
> " + fileName
    elif OS == 'Windows':
        IP2 = ipCorrect(IP, maska); Command = Cmd2 + " "
+ IP + "/" + IP2 + " -L " + fileName
    else:
        Command = Cmd1 + " " + IP + "/" + str(maska) + "
> " + fileName
netCtrl.append([[Count], [IP], [maska], [Command],
[fileName]])
```

Этап 5. Сканирование подсетей

Сканирование осуществляется путем запуска в виде shell-команд из перечня netCtrl, сформированного в предыдущем модуле. Сразу по завершении сканирования подсети и записи результатов в файл последний подвергается обработке на предмет определения откликнувшихся хостов. Результаты заносятся в список Host с последующей записью в файл электронной таблицы (табл. 2). Массив Scan сформирован:

```
# идем по командам
for i in range(Count):
    cmdLine = str(netCtrl[i][3])
    cmdLine = cmdLine[2:-2]
    ...
    os.system(cmdLine)

# открыть txt-файл с fping'ами
with open(fileName) as txtF:
    Host = []; IPv4 = []; Answ = []; Tim = []; Scan = []
    for line in txtF:
        ...
        if OS == 'Windows': # обработка результатов при ОС Windows
            ...
        else: # Linux - обработка результатов при ОС Linux
            ...
    Host.append(LstIP[0]); IPv4.append(LstIP[1]); Answ.append(LstIP[2]);
    Tim.append(LstIP[3]); Scan.append(scanTime)
```

Таблица 2

Результаты сканирования в среде ОС Windows

Host	IP	Answer	Time
10.10.121.1	10.100.121.1	is alive	2.53 ms
10.10.121.6	10.100.121.6	is alive	2.25 ms
10.10.121.7	10.100.121.7	is alive	2.89 ms
10.10.121.12	10.100.121.12	is alive	3.71 ms
10.10.121.22	10.100.121.22	is alive	0.92 ms
10.10.121.23	10.100.121.23	is alive	19.7 ms
w-ia-0009.sib.local	10.100.121.27	is alive	6.40 ms
itc595.sib.local	10.100.121.31	is alive	1.63 ms

Окончание табл. 2

Host	IP	Answer	Time
10.10.121.41	10.100.121.41	is alive	0.62 ms
10.10.121.42	10.100.121.42	is alive	1.10 ms
10.10.121.49	10.100.121.49	is alive	0.85 ms
4515.sib.local	10.100.121.52	is alive	0.53 ms
2533.sib.local	10.100.121.57	is alive	0.66 ms
xrx9c934e182b8c	10.100.121.59	is alive	0.77 ms
10.10.121.60	10.100.121.60	is alive	3.43 ms
w-ia-0057.sib.local	10.100.121.67	is alive	0.70 ms
w-ia-0058.sib.local	10.100.121.68	is alive	0.78 ms
10.10.121.75	10.100.121.75	is alive	0.25 ms
i500.sib.local	10.100.121.81	is alive	0.57 ms
osvet1.sib.local	10.100.121.83	is alive	1.04 ms
10.10.121.253	10.100.121.253	is alive	0.25 ms
10.10.121.2	10.100.121.2	is unreachable	
10.10.121.3	10.100.121.3	is unreachable	
10.10.121.4	10.100.121.4	is unreachable	
10.10.121.5	10.100.121.5	is unreachable	

Этап 7. Сбор массивов

Сбор данных по контролируемым компьютерам (массив SCCM) и компьютерам, на которые распространено действие АВПО (массив AV), в единую электронную таблицу с массивом Scan необходимо исключительно для удобства работы. Сбор осуществляется, например, средствами работы с файлами excel, в частности orepnux1, и трудности не представляет. Важно только обеспечить наличие обязательных столбцов, таких как IP, и соответствующее массиву состояние хоста (рис. 1–3).

Небольшую проблему представляет очистка массива Scan от хостов, не являющихся компьютерами (телекоммуникационные и периферийные устройства).

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
№	IP	Имя компьютера	Подсеть	Посл. вход. пользователь	Домен	Операционная система	Пакеты обновлен	Серийный номер	Проприетарный дилер	Модель	Память (Клэте)	Процессор	Проце
66	10.100.110.117	NE-EL-W-0767	10.100.110.0		sbdomen.ru	Microsoft Windows 7 Профессиональная	Service Pack 1	Chassis Serial Number	System manufacturer	P5KC	4193400	Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU E8400 @ 3.00GHz	
67	10.100.110.118	NE-EL-W-0768	10.100.110.0		sbdomen.ru	Microsoft Windows 7 Профессиональная	Service Pack 1	Chassis Serial Number	System manufacturer		4160656	Intel(R) Core(TM) i5-2310 CPU @ 3.20GHz	
68	10.100.110.119	NE-EL-W-0769	10.100.110.0		sbdomen.ru	Microsoft Windows 7 Корпоративная	Service Pack 1		HP3520 Аю		3535388	Intel(R) Core(TM) i3-3220 CPU @ 3.30GHz	
6	10.100.110.12	NE-EL-W-0570	10.100.110.0		sbdomen.ru	Microsoft Windows 7 Профессиональная	Service Pack 1	Chassis Serial Number	System manufacturer		4193336	Intel(R) Core(TM)2 Quad CPU Q9400 @ 2.66GHz	
69	10.100.110.120	NE-EL-W-0770	10.100.110.0		sbdomen.ru	Майкрософт Windows 10 Корпоративная			HP Pro 3420 AIO PC		4104660	Intel(R) Core(TM) i3-2120 CPU @ 3.30GHz	
70	10.100.110.121	NE-EL-W-0771	10.100.110.0		sbdomen.ru	Microsoft Windows 7 Корпоративная	Service Pack 1		HP Pro 3800 Series		3851608	Intel(R) Core(TM) i3-3220 CPU @ 3.30GHz	
71	10.100.110.122	NE-EL-W-0772	10.100.110.0		sbdomen.ru	Microsoft Windows 7 Профессиональная	Service Pack 1	Chassis Serial Number	System manufacturer		2087096	Pentium(R) Dual-Core CPU E5300 @ 2.60GHz	
72	10.100.110.123	NE-EL-W-0773	10.100.110.0		sbdomen.ru	Microsoft Windows 7 Профессиональная	Service Pack 1	Chassis Serial Number	System manufacturer		4193336	Intel(R) Core(TM)2 Quad CPU Q9400 @ 2.66GHz	
73	10.100.110.125	NE-EL-W-0774	10.100.110.0		sbdomen.ru	Microsoft Windows 7 Профессиональная	Service Pack 1	Default string	System manufacturer		8253392	Intel(R) Core(TM) i3-6100 CPU @ 3.70GHz	
74	10.100.110.126	NE-EL-W-0775	10.100.110.0		sbdomen.ru	Microsoft Windows 7 Профессиональная	Service Pack 1	Chassis Serial Number	System manufacturer		4160656	Intel(R) Core(TM) i3-2120 CPU @ 3.30GHz	
75	10.100.110.127	NE-EL-W-0776	10.100.110.0		sbdomen.ru	Майкрософт Windows 10 Pro		Default string	System manufacturer		8226044	Intel(R) Core(TM) i3-6100 CPU @ 3.69GHz	
76	10.100.110.128	NE-EL-W-0777	10.100.110.0		sbdomen.ru	Microsoft Windows 7 Профессиональная	Service Pack 1	Chassis Serial Number	System manufacturer	P5QL PRO	2096248	Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU E7500 @ 2.93GHz	

Рис. 1. Массив SCCM (обязательные столбцы – IP и имя компьютера)

A	B	C	D	E	F
№	IP	Имя компьютера	Базы давно не обновлялись	Агент администрирования не установлен или не работает	Не актуальная версия АВПО
1	10.100.110.103	NE-EL-W-0757			
2	10.100.110.104	NE-EL-W-0758	Y		Y
3	10.100.110.106	NE-EL-W-0759			
4	10.100.110.109	NE-EL-W-0761			
5	10.100.110.110	NE-EL-W-0762			
6	10.100.110.111	NE-EL-W-0763		Y	
7	10.100.110.112	NE-EL-W-0764	Y		
8	10.100.110.115	NE-EL-W-0765		Y	
9	10.100.110.116	NE-EL-W-0766			
10	10.100.110.117	NE-EL-W-0767			
11	10.100.110.118	NE-EL-W-0768			
12	10.100.110.119	NE-EL-W-0769			
13	10.100.110.12	NE-EL-W-0570	Y		
14	10.100.110.120	NE-EL-W-0770			
15	10.100.110.121	NE-EL-W-0771			
16	10.100.110.123	NE-EL-W-0773			
17	10.100.110.126	NE-EL-W-0775			
18	10.100.110.127	NE-EL-W-0776			
19	10.100.110.128	NE-EL-W-0777			
20	10.100.110.129	NE-EL-W-0778			
21	10.100.110.13	NE-EL-W-0595			
22	10.100.110.130	NE-EL-W-0779			

Рис. 2. Массив AV (все столбцы обязательные, данные в столбцах D, E, F получены на этапе обработки исходных отчетов АВПО)

A	B	C	D	E	F
№	IP	Host	Answer	Time	ScanTime
1	10.100.110.1	10.100.110.1	is alive	21.7	21.7
2	10.100.110.10	10.100.110.10	request timed out		
3	10.100.110.100	10.100.110.100	request timed out		
4	10.100.110.101	10.100.110.101	request timed out		
5	10.100.110.102	10.100.110.102	request timed out		
6	10.100.110.103	10.100.110.103	is alive	0.7	0.7
7	10.100.110.104	10.100.110.104	is alive	2.0	2.0
8	10.100.110.105	10.100.110.105	request timed out		
9	10.100.110.106	10.100.110.106	is alive	0.8	0.8
10	10.100.110.107	10.100.110.107	request timed out		
11	10.100.110.108	10.100.110.108	is alive	2.9	2.9
12	10.100.110.109	10.100.110.109	is alive	0.8	0.8
13	10.100.110.11	10.100.110.11	request timed out		
14	10.100.110.110	10.100.110.110	is alive	0.5	0.5
15	10.100.110.111	10.100.110.111	is alive	1.2	1.2
16	10.100.110.112	10.100.110.112	is alive	0.9	0.9
17	10.100.110.113	10.100.110.113	request timed out		
18	10.100.110.114	10.100.110.114	request timed out		
19	10.100.110.115	10.100.110.115	is alive	0.8	0.8
20	10.100.110.116	10.100.110.116	is alive	0.6	0.6
21	10.100.110.117	10.100.110.117	is alive	0.7	0.7
22	10.100.110.118	10.100.110.118	is alive	7.5	7.5
23	10.100.110.119	10.100.110.119	is alive	0.8	0.8
24	10.100.110.12	10.100.110.12	is alive	21.5	21.5
25	10.100.110.120	10.100.110.120	is alive	1.0	1.0
26	10.100.110.121	10.100.110.121	is alive	0.6	0.6
27	10.100.110.122	10.100.110.122	is alive	0.5	0.5
28	10.100.110.123	10.100.110.123	is alive	0.9	0.9
29	10.100.110.124	10.100.110.124	request timed out		
30	10.100.110.125	10.100.110.125	is alive	0.7	0.7
31	10.100.110.126	10.100.110.126	is alive	0.7	0.7
32	10.100.110.127	10.100.110.127	is alive	0.6	0.6
33	10.100.110.128	10.100.110.128	is alive	0.7	0.7

Рис. 3. Массив Scan (обязательные столбцы – IP, Host, Answer)

Этап 8. Анализ результатов

Этап также не представляет сложности. Можно делать как с использованием разработанных для целей аудита соответствующих модулей программы на Python, так и средствами электронных таблиц. Результат приведен на рис. 4.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
№	Host	IP (1-254)	SCCM	AV	AV (нарушения)	is alive	Отклонение 1 (ошибки отсутствующего в SCCM хоста)	Отклонение 2 (в отчетах АВПО отсутствуют хосты из SCCM или отсутствующий)	Отклонение 3 (все проблемы АВПО)
254	120	254	120	108	23	129	10	21	44
1	KNSMIR.sibdomen.ru	10.100.110.1	10.100.110.1			10.100.110.1		10.100.110.1	10.100.110.1
2	NE2438.sibdomen.ru	10.100.110.2	10.100.110.2	10.100.110.2		10.100.110.2			
3		10.100.110.3							
4	NE2612.sibdomen.ru	10.100.110.4	10.100.110.4	10.100.110.4		10.100.110.4			
5		10.100.110.5							
6	NE2747.sibdomen.ru	10.100.110.6	10.100.110.6	10.100.110.6		10.100.110.6			
7		10.100.110.7							
8	NE522.sibdomen.ru	10.100.110.8	10.100.110.8			10.100.110.8		10.100.110.8	10.100.110.8
9		10.100.110.9							
10		10.100.110.10							
11		10.100.110.11							
12	NE-EL-W-0570.sibdomen.ru	10.100.110.12	10.100.110.12	10.100.110.12	10.100.110.12	10.100.110.12			10.100.110.12
13	NE-EL-W-0595.sibdomen.ru	10.100.110.13	10.100.110.13	10.100.110.13					
14	NE-EL-W-0603.sibdomen.ru	10.100.110.14	10.100.110.14	10.100.110.14		10.100.110.14			
15		10.100.110.15		10.100.110.15		10.100.110.15	10.100.110.15		
16		10.100.110.16		10.100.110.16		10.100.110.16	10.100.110.16		
17		10.100.110.17							
18		10.100.110.18							
19	NE-EL-W-0606.sibdomen.ru	10.100.110.19	10.100.110.19	10.100.110.19	10.100.110.19	10.100.110.19			10.100.110.19
20		10.100.110.20							
21	NE-EL-W-0607.sibdomen.ru	10.100.110.21	10.100.110.21	10.100.110.21		10.100.110.21			
22	NE-EL-W-0608.sibdomen.ru	10.100.110.22	10.100.110.22	10.100.110.22		10.100.110.22			
23	NE-EL-W-0609.sibdomen.ru	10.100.110.23	10.100.110.23	10.100.110.23		10.100.110.23			
24		10.100.110.24							
25	NE-EL-W-0610.sibdomen.ru	10.100.110.25	10.100.110.25	10.100.110.25		10.100.110.25			
26	NE-EL-W-0611.sibdomen.ru	10.100.110.26	10.100.110.26	10.100.110.26	10.100.110.26	10.100.110.26			10.100.110.26
27	NE-EL-W-0612.sibdomen.ru	10.100.110.27	10.100.110.27			10.100.110.27			
28	NE-EL-W-0614.sibdomen.ru	10.100.110.28	10.100.110.28	10.100.110.28		10.100.110.28		10.100.110.27	10.100.110.27
29	NE-EL-W-0615.sibdomen.ru	10.100.110.29	10.100.110.29	10.100.110.29		10.100.110.29			

Рис. 4. Результаты анализа состояния контроля «Защита от вредоносного кода»

РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Применение «малой автоматизации» в аудите ИБ позволяет следующее.

1. Сократить время на обработку информации операционного уровня.

Применение приведенной выше программы позволяет сократить время на получение результатов аудиторами ИБ.

Применение подобной автоматизации на втором уровне системы внутреннего контроля организации (в частности, в службе ИБ) с дополнением программы модулем автоматизированной выгрузки данных из SCCM и отчетов АВПО позволит в онлайн-режиме осуществлять контроль «Защиты от вредоносного кода» без применения дорогостоящих SIEM.

2. Получать более достоверные результаты.

Анализ результатов показал, что при традиционном подходе аудиторов происходит получение недостоверной оценки состояния защиты от вредоносного кода. Так, например, исходя из представленных отчетов (рис. 4) можно сделать вывод, что из 120 активных компьютеров только на 23 имеются проблемы с АВПО (19,2 %). Однако с учетом неконтролируемых SCCM хостов таких компьютеров 44 (37 %), что практически в два раза ухудшает предыдущий результат.

3. Включать в область проверки дополнительные контроли.

По результатам анализа получены три наблюдения вместо предполагаемых одного-двух. По плану оценки должны быть получены результаты о со-

стоянии контроля «Защита от вредоносного кода» в части наличия АВПО на всех компьютерах ОА и непосредственного наличия проблем с АВПО. Однако дополнительно получены данные о проблематичном состоянии «Контроль ИТ-инфраструктуры».

«Малая автоматизация» помогает эволюционному движению аудита ИБ в направлении достижения стратегической цели – «проактивности».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001–2006. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности. Требования: введ. 2008–02–01. – Переизд. – М.: Стандартинформ, 2019. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-iso-mek-27001-2006> (дата обращения: 18.03.2021).
2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27002–2012. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Свод норм и правил менеджмента информационной безопасности: взамен ГОСТ Р ИСО/МЭК 17799–2005: введ. 2014–01–01. – М.: Стандартинформ, 2014. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200103619> (дата обращения: 18.03.2021).
3. Ernst & Young. Does a disrupted Internal Audit (IA) function mean a stronger strategic partner? – 2018. – URL: https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/en_gl/topics/advisory/ey-future-of-internal-audit.pdf (дата обращения: 18.03.2021).
4. PricewaterhouseCoopers. Internal Audit Transformation: PwC. – 2020. – URL: <https://www.pwc.com/us/en/services/risk-assurance/internal-audit-transformation.html> (accessed: 18.03.2021).
5. Итоги IX Национальной научно-практической конференции «Внутренний контроль и аудит в России: Новые тенденции в условиях цифровизации». – М., 2020. – URL: <http://nuiac.ru/ix-post> (дата обращения: 18.03.2021).
6. *Churpurov M.* Auditing and GRC Automation in SAP. – Berlin; Heidelberg: Springer, 2013. – 525 p.
7. Внутренний аудитор: журнал / издание Ассоциации «Институт внутренних аудиторов». – 2019. – № 1 (5). – 81 с.
8. NIST SP 800-53. Security and Privacy Controls for Federal Information Systems and Organizations. – Rev. 4. – 2013. – 462 p. – URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.800-53r4.pdf> (accessed: 18.03.2021).
9. ГОСТ Р 57580.1–2017. Безопасность финансовых (банковских) операций. Защита информации финансовых организаций. Базовый состав организационных и технических мер: введ. 2018–01–01. – М.: Стандартинформ, 2020. –

179 с. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200146534> (дата обращения: 18.03.2021).

10. Приказ от 25.12.2017 г. № 239 «Об утверждении требований по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» / Федеральная служба по техническому и экспортному контролю. – М., 2017. – 32 с. – URL: <https://fstec.ru/en/53-normotvorcheskaya/akty/prikazy/1592-prikaz-fstek-rossii-ot-25-dekabrya-2017-g-n-239> (дата обращения: 18.03.2021).

11. Приказ от 18.02.2013 г. № 21 «Об утверждении состава и содержания организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных» / Федеральная служба по техническому и экспортному контролю. – М., 2013. – 19 с. – URL: <https://fstec.ru/normotvorcheskaya/akty/53-prikazy/691> (дата обращения: 18.03.2021).

Дронов Вадим Юрьевич, старший преподаватель кафедры защиты информации Новосибирского государственного технического университета. E-mail: dronov@corp.nstu.ru

Дронова Галина Александровна, старший преподаватель кафедры защиты информации Новосибирского государственного технического университета. E-mail: g.dronova@corp.nstu.ru

Белов Виктор Матвеевич, доктор технических наук, профессор кафедры защиты информации Новосибирского государственного технического университета. E-mail: v.m.belov@corp.nstu.ru

Грищенко Лев Аркадьевич, ассистент кафедры защиты информации Новосибирского государственного технического университета. E-mail: l.grishhenko@corp.nstu.ru

Зырянов Сергей Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры защиты информации Новосибирского государственного технического университета. E-mail: zyryanov@corp.nstu.ru

DOI: 10.17212/2307-6879-2021-1-64-79

Automation of data processing in the process of information security audit*

**V.Yu. Dronov¹, G.A. Dronova², V.M. Belov³, L.A. Grishchenko⁴,
S.A. Zyryanov⁵**

¹ Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, senior lecturer of the information security department. E-mail: dronov@corp.nstu.ru

² Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, senior lecturer of the information security department. E-mail: g.dronova@corp.nstu.ru

³ Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, doctor of technical sciences, professor of the information security department. E-mail: g.dronova@corp.nstu.ru

⁴ Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, postgraduate of the information security department. E-mail: l.grishhenko@corp.nstu.ru

⁵ Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, candidate of technical sciences, associate professor of the information security department. E-mail: zyryanov@corp.nstu.ru

According to the Russian standards in the field of information security management (IS), which are authentic international standards, such as [1, 2], the organization must regularly conduct an internal audit of the information security management system. An audit is an independent review and evaluation of an organization's activities by analyzing and evaluating processes, projects, reports, and products. Audit, as an activity, is not static, unchanging, it evolves. From the point of view of leading international audit companies, in particular [3, 4], the current stage of audit evolution is the transition from reactivity (identifying shortcomings after the fact) to proactivity (predicting the results of actions or events before their completion). The validity of the statement for the Russian Internal Audit is confirmed by the results of the IX National Scientific and Practical Conference [5]. The movement towards proactivity in the audit determines the relevance of the following tasks:

- 1) processing up to 100 % of the information generated by the activity that is the focus of the audit;
- 2) processing information in a close-to-online mode;
- 3) the availability of powerful tools for data analysis and modeling on their basis the further development of the investigated events, as well as the appropriate skills of working with it from the auditors.

When conducting audits, the auditors have a dilemma – on the one hand, they are obliged to provide the owners/shareholders/management of the organization with data as close as possible to the reliable state of the information security management processes, information about the identified shortcomings and recommendations for their elimination, on the other hand: the audit time is strictly limited; unloading the initial data from the organization's information systems takes considerable time; the data obtained from various information systems and other sources have different, not always standard formats; the tools used have disadvantages,

* Received 12 December 2020.

since the most frequently used spreadsheets (MSExcel, LOCalc), due to internal limitations, are no longer able to provide the required functionality.

The above-mentioned factors, as well as other factors, such as unwillingness to cooperate, hidden opposition of the personnel of the audited organization, evaluation of the work of auditors only by quantitative indicators (the number of observations or the time spent on one observation), lead to the fact that the checks are carried out superficially. At the same time, shortcomings in the information security management processes can be detected, but it becomes difficult to explain their nature and give effective recommendations to the business auditor.

As a result, the goal of independent audits defined in GOST ISO/IEC 27002-2012 – “ensuring confidence in the continued efficiency, adequacy and effectiveness of the organization's approach to information security management” [2] – cannot be achieved.

One of the options for eliminating some of the above-mentioned shortcomings is the use of programs developed by the auditors themselves and designed for operational data processing, the so-called “small automation”, during audits. This approach, although it is a low-level link in the chain of automation of audit procedures and, nevertheless, is within the framework of the audit development paradigm in the direction of robotization of procedures and the use of artificial intelligence, which is discussed, for example, in the works [3, 6, 7], and also confirmed by the results of conferences of the Institute of Internal Auditors [8].

Keywords: audit, information security audit, information security, automation, Python

REFERENCES

1. GOST R ISO/MEK 27001–2006. *Informatsionnaya tekhnologiya. Metody i sredstva obespecheniya bezopasnosti. Sistemy menedzhmenta informatsionnoi bezopasnosti. Trebovaniya* [State standard R ISO/MEK 27001–2006. Information technology. Security techniques. Information security management systems. Requirements]. Moscow, Standartinform Publ., 2019. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-iso-mek-27001-2006> (accessed 18.03.2021).
2. GOST R ISO/MEK 27002–2012. *Informatsionnaya tekhnologiya. Metody i sredstva obespecheniya bezopasnosti. Svod norm i pravil menedzhmenta informatsionnoi bezopasnosti* [State standard R ISO/MEK 27002–2012. Information technology. Security techniques. Code of practice for information security management]. Moscow, Standartinform Publ., 2014. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200103619> (accessed 18.03.2021).
3. Ernst & Young. *Does a disrupted Internal Audit (IA) function mean a stronger strategic partner?* 2018. Available at: https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/en_gl/topics/advisory/ey-future-of-internal-audit.pdf (accessed 18.03.2021).
4. PricewaterhouseCoopers. *Internal Audit Transformation: PwC*, 2020. Available at: <https://www.pwc.com/us/en/services/risk-assurance/internal-audit-transformation.html> (accessed 18.03.2021).
5. Itogi IX Natsional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Vnutrennii kontrol' i audit v Rossii: Novye tendentsii v usloviyakh tsifrovizatsii" [Results of

the IX National Scientific and Practical Conference " Internal Control and Audit in Russia: New trends in the context of digitalization»], Moscow, 2020. Available at: <http://nuiac.ru/ix-post> (accessed 18.03.2021).

6. Chuprunov M. *Auditing and GRC Automation in SAP*. Berlin, Heidelberg, Springer, 2013. 525 p.

7. *Vnutrennii auditor*, 2019, no. 1 (5). 81 p. (In Russian).

8. NIST SP 800-53. *Security and Privacy Controls for Federal Information Systems and Organizations*. Rev. 4. 2013. 462 p. Available at: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.800-53r4.pdf> (accessed 18.03.2021).

9. GOST R 57580.1–2017. *Bezopasnost' finansovykh (bankovskikh) operatsii. Zashchita informatsii finansovykh organizatsii. Bazovyi sostav organizatsionnykh i tekhnicheskikh mer* [State standard R 57580.1–2017. Security of financial (banking) operations. Information protection of financial organizations. Basic set of organizational and technical measures]. Moscow, Standartinform Publ., 2017. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200146534> (accessed 18.03.2021).

10. Order of the FSTEC of Russia dated December 25, 2017, No. 239 "On approval of the requirements for ensuring the security of significant objects of the critical information infrastructure of the Russian Federation". (In Russian). Available at: <https://fstec.ru/en/53-normotvorcheskaya/akty/prikazy/1592-prikaz-fstek-rossii-ot-25-dekabrya-2017-g-n-239> (accessed 18.03.2021).

11. Order of the FSTEC of Russia dated February 18, 2013 "On approval of the composition and content of organizational and technical measures to ensure the security of personal data during their processing in personal data information systems". (In Russian). Available at: <https://fstec.ru/normotvorcheskaya/akty/53-prikazy/691> (accessed 18.03.2021).

Для цитирования:

Автоматизация обработки данных в процессе аудита информационной безопасности / В.Ю. Дронов, Г.А. Дронова, В.М. Белов, Л.А. Грищенко, С.А. Зырянов // Сборник научных трудов. – 2021. – № 1 (100). – С. 64–79. – DOI: 10.17212/2307-6879-2021-1-64-79.

For citation:

Dronov V. Yu., Dronova G. A., Belov V. M., Grishchenko L. A., Zyryanov S. A. Avtomatizatsiya obrabotki dannykh v protsesse audita informatsionnoi bezopasnosti [Automation of data processing in the process of information security audit]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2021, no. 1 (100), pp. 64–79. DOI: 10.17212/2307-6879-2021-1-64-79.

РЕДАКЦИОННАЯ СТРАНИЦА

Информационное письмо главного редактора научного сборника «Сборник научных трудов НГТУ», председателя редакционного совета и главного редактора научного журнала «Безопасность цифровых технологий»

Уважаемые коллеги – авторы и читатели!

В информационном письме прошлого года, опубликованном в журнале «Сборник научных трудов НГТУ», № 1-2 (97) за 2020 год, было сообщено, что Новосибирский государственный технический университет (НГТУ) в период с 2020 по 2021 год проводит реорганизацию ряда научных изданий. В связи с этим на базе НГТУ приказом ректора № 633 от 15.04.2020 года сформирован редакционный совет нового международного научного журнала «Безопасность цифровых технологий», который должен был стать правопреемником ранее издаваемого научного сборника «Сборник научных трудов НГТУ». В этом же информационном письме опубликован перечень научных специальностей, по которым будет освещаться научная информация в новом журнале, а также список членов редакционного совета журнала и планируемые мероприятия по его дальнейшему развитию. Затем была проделана огромная работа по переходу от одного вида научного издания (сборник научных трудов) к другому виду (научный журнал), первым результатом которой можно считать официальную регистрацию нового научного журнала «Безопасность цифровых технологий» в государственном реестре СМИ под номером ПИ № ФС 77-80320 от 01.03.2021 года.

В связи с вышеизложенным хочу от своего имени поздравить всех членов редакционного совета нового научного журнала «Безопасность цифровых технологий» с этой первой и значимой победой, поблагодарить их за активное участие в продвижении нашего общего научного издания, пожелать здоровья, процветания и призвать к дальнейшим действиям по выполнению своих функций как членов редакционного совета.

В свою очередь, пользуясь случаем, хочу поблагодарить уходящую на заслуженный отдых редакционную коллегию и весь выпускающий состав персонала научного сборника «Сборник научных трудов НГТУ» за многолетнюю и плодотворную работу по его выпуску в свет, пожелать дальнейших успехов всем на редакторском и издательском поприще с новыми научными изданиями, а также поздравить коллег по научному сборнику с его 25-летием со дня основания (1995 год) и выходом в свет **юбилейного 100-го номера**.

Главный редактор научного сборника «Сборник научных трудов НГТУ»,
председатель редакционного совета
научного журнала «Безопасность цифровых технологий», д-р техн. наук, проф.,
заслуженный деятель науки РФ

А.Г. Вострецов

ПЕРСОНАЛИИ, ПОЗДРАВЛЕНИЯ

Белов Виктор Матвеевич

доктор технических наук,
доктор физико-математических наук,
профессор, профессор кафедры
защиты информации НГТУ

E-mail: vmbelov@mail.ru

Тел.: (383) 346-08-53



В 1978 г. В.М. Белов окончил с золотой медалью среднюю общеобразовательную школу г. Барнаула Алтайского края и одновременно с отличием математическое отделение заочной физико-математической школы при Новосибирском государственном университете.

В том же 1978 г. поступил в Алтайский государственный университет, а в 1983 г. окончил его. Трудовую деятельность В.М. Белов начал в 1983 г. в должности инженера Научно-производственного объединения «АНИТИМ», затем в том же году был перераспределен в Алтайский политехнический институт им. И.И. Ползунова (АПИ) на должность инженера научно-исследовательского сектора для выполнения хозяйственных договоров по оборонной тематике, руководил дипломными работами. В 1985 г. был избран по конкурсу на должность младшего научного сотрудника Западно-Сибирского филиала ВНИПТИХИМ. Имеет благодарности.

В 1986 г. поступил в очную аспирантуру Томского политехнического института, в 1990 г. окончил ее. За период обучения в аспирантуре работал инженером Института физики прочности и материаловедения СО АН СССР, младшим научным сотрудником Института химии нефти СО АН СССР, научным сотрудником НВО «Топаз» при Институте оптики атмосферы СО АН СССР. С 1991 г. В.М. Белов перешел на постоянную работу в АПИ, затем в Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, где работал старшим преподавателем, доцентом, заместителем декана есте-

ственного факультета. Первую диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук защитил в 1992 г. в специализированном совете Томского политехнического университета. В январе 1993 г. за высокие достижения в науке В.М. Белов удостоен звания лауреата премии имени ученого совета АлтГТУ. В 1997 г. ему присвоено звание доцента кафедры.

В период с 1997 по 2000 г. проходил обучение в докторантуре АлтГТУ и работал доцентом на кафедрах этого же вуза. После защиты докторской диссертации в 2002 г. был приглашен заведовать кафедрой в Алтайском государственном медицинском университете (АГМУ). За годы работы в АГМУ за высокие организаторские, научные и педагогические достижения был награжден почетным дипломом, почетной грамотой и ценным подарком администрации АГМУ.

В 2005 г. В.М. Белов снова вернулся в АлтГТУ, уже на заведование кафедрой «Защита информационных ресурсов и систем связи». Проработал в этой должности до февраля 2010 г. В этот период, в 2006 г., за цикл научных работ, посвященных региональной безопасности, он был удостоен звания лауреата премии Алтайского края в области науки и техники. В 2009 г. под его научным руководством была защищена первая кандидатская диссертация по защите информации в Алтайском крае. С февраля 2010 г. в связи с реорганизацией кафедры переведен на должность профессора кафедры «Вычислительные системы и информационная безопасность».

В сентябре 2010 г. переехал в г. Новосибирск и начал работать в Сибирском государственном университете телекоммуникаций и информатики (СибГУТИ) в качестве профессора кафедры «Безопасность и управление в телекоммуникациях». В 2013 г. ему было присвоено звание профессора по кафедре «Безопасность и управление в телекоммуникациях». За время работы в СибГУТИ им создана и зарегистрирована научная школа по направлению «Анализ, моделирование и управление эмпирической информацией в условиях ее неполной определенности». В 2019 г. перешел на постоянную работу в Новосибирский государственный технический университет (НГТУ) на должность профессора кафедры защиты информации. В этой должности трудится по настоящее время.

Профессор В.М. Белов хорошо известен как специалист в области прикладной математики и информатики, а в период с 2003 по 2021 г. – в области технологий безопасности. Им опубликовано более 500 научных и учебно-методических работ, включая 12 монографий, вышедших в свет в центральных издательствах РФ, в том числе и при поддержке Президиума СО РАН, 3 учебных пособия с грифом УМО РФ, более 20 свидетельств на программное обеспечение и патентов. Некоторые учебные пособия, изданные им в РФ, ис-

пользуются в качестве базовых учебников в странах СНГ. Под его руководством защищено семь кандидатских диссертаций, получены фундаментальные результаты в формировании вычислительной базы интервально-статистического анализа данных, предложена гибридная методология оценивания качества социально значимой деятельности, сформулировано новое прикладное научно-образовательное направление «Юрисметрия» и т. д.

В.М. Белов являлся организатором проведения нескольких международных, общероссийских и региональных научно-практических конференций. Работая в настоящее время в НГТУ, стал инициатором создания и редактором нового перспективного научного журнала «Безопасность цифровых технологий».

15 декабря 2020 г. Белову Виктору Матвеевичу исполнилось 60 лет.

Руководство НГТУ и коллектив кафедры защиты информации искренне и сердечно поздравляют Виктора Матвеевича Белова с большой юбилейной датой в его жизни, выражают ему огромную благодарность за многолетний и плодотворный труд, направленный на благо российского образования и науки, желают сибирского здоровья, творческого долголетия и новых успехов во всех его начинаниях!

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

УСЛОВИЯ ПРИЕМА СТАТЕЙ

В редакцию **Сборника научных трудов НГТУ** представляются следующие материалы.

1. Статья объемом 8–12 страниц от магистрантов, аспирантов в соавторстве со специалистами, имеющими ученую степень, и 16–22 страницы от докторантов, печатная версия – два экземпляра, подписанных авторами (требования к оформлению см. на сайте: <http://sbornik.infoterra.ru>).

2. Контактная информация (телефоны, адреса электронной почты, место работы, должность, ученая степень, ученое звание автора) – печатная версия, два экземпляра.

3. Описание статьи для базы данных «Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)» – печатная версия, один экземпляр (<http://sbornik.infoterra.ru>).

4. Электронная версия статьи, контактной информации, описание статьи для базы данных РИНЦ, реферат на англ. языке – в отдельных файлах на CD.

5. Рецензия объемом одна-две страницы в двух экземплярах.

6. Экспертное заключение о возможности опубликования – один экземпляр.

Внимание! Все математические формулы в статьях должны быть набраны в MathType.

Информацию о сборнике, дополнительную информацию, документацию по оформлению см. на сайте: <http://sbornik.infoterra.ru>
journals.nstu.ru/sbornik

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ РАЗДЕЛЫ СБОРНИКА

Автоматическое управление (и идентификация)

Моделирование процессов и устройств

Обработка информации

Современные информационные технологии

Электроэнергетика, электромеханика и электротехнологии

Механика (гидрогазодинамика)

Физика и математика

Материаловедение

Сообщения и дискуссии

Педагогика

Авторы, не являющиеся сотрудниками НГТУ, представляют сопроводительное письмо на имя проректора по научной работе НГТУ.

Все рукописи рецензируются, по результатам рецензирования редколлегия принимает решение о целесообразности опубликования материалов.

Плата за публикацию рукописей не взимается.