

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ЗЕМЛИ

HIGH TECHNOLOGIES IN EARTH SPACE RESEARCH

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

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

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

- 05.11.00 Авиационная и ракетно-космическая техника
- 05.12.00 Радиотехника и связь
- 05.13.00 Информатика, вычислительная техника и управление.

ИНДЕКСИРОВАНИЕ ЖУРНАЛА H&ES RESEARCH

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

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

Всем авторам, желающим разместить научную статью в журнале, необходимо оформить ее согласно требованиям и направить материалы на электронную почту: HT-ESResearch@yandex.ru. С требованиями можно ознакомиться на сайте: www.H-ES.ru.

Язык публикаций: русский, английский.
Периодичность выхода – 6 номеров в год.
Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 77-60899 от 02.03.2015
Территория распространения: Российская Федерация, зарубежные страны

Тираж 1000 экз. Цена 1000 руб.
Плата с аспирантов за публикацию рукописи не взимается.

© ООО «ИД Медиа Паблшер», 2020

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

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

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

- 05.07.00 Aviation, space-rocket hardware
- 05.12.00 RF technology and communication
- 05.13.00 Informatics, computer engineering and control.

JOURNAL H&ES RESEARCH INDEXING

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

All authors wishing to post a scientific article in the journal, you must register it according to the requirements and send the materials to your email: HT-ESResearch@yandex.ru. The requirements are available on the website: www.H-ES.ru.

Language of publications: Russian, English.
Periodicity – 6 issues per year.
Media Registration Certificate PI No. FS77-60899. Date of issue: March 2, 2015.
Distribution Territory: Russian Federation, foreign countries

Circulation of 1000 copies. Price of 1000 Rub.
Postgraduate students for publication of the manuscript will not be charged

© "Media Publisher", LLC 2020

Учредитель:

ООО «ИД Медиа Паблшер»

Издатель:

ДЫМКОВА С.С.

Главный редактор:

ЛЕГКОВ К.Е.

Редакционная коллегия:

БОБРОВСКИЙ В.И., д.т.н., доцент;

БОРИСОВ В.В., д.т.н., профессор,

Действительный член академии

военных наук РФ;

БУДКО П.А., д.т.н., профессор;

БУДНИКОВ С.А., д.т.н., доцент,

Действительный член Академии

информатизации образования;

ВЕРХОВА Г.В., д.т.н., профессор;

ГОНЧАРЕВСКИЙ В.С., д.т.н., профессор,

заслуженный деятель науки

и техники РФ;

КОМАШИНСКИЙ В.И., д.т.н., профессор;

КИРПАНЕВ А.В., д.т.н., доцент;

КУРНОСОВ В.И., д.т.н., профессор,

академик Международной академии

информатизации, Действительный член

Российской академии естественных наук;

МОРОЗОВ А.В., д.т.н., профессор,

Действительный член Академии

военных наук РФ;

МОШАК Н.Н., д.т.н., доцент;

ПАВЛОВ А.Н., д.т.н., профессор;

ПРОРОК В.Я., д.т.н., профессор;

СЕМЕНОВ С.С., д.т.н., доцент;

СИНИЦЫН Е.А., д.т.н., профессор;

ШАТРАКОВ Ю.Г., д.т.н., профессор,

заслуженный деятель науки РФ.

Адрес издателя:

111024, Россия, Москва,

ул. Авиамоторная, д. 8, офис 512-514.

Адрес редакции:

194044, Россия, Санкт-Петербург,

Лесной Проспект, 34-36, к. 1,

Тел.: +7(911) 194-12-42.

Адрес типографии:

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

Зимовец А.И., Зоткин М.Ю., Хомоненко А.Д., Яковлев Е.Л.

Идентификация космических объектов на основе интеграции данных от различных систем наблюдения и нечеткого вывода 4

Марков А.В., Ефремов Н.Ю., Орешина О.А.

Оценка рисков при оптимизации состава радиопоглощающих дисперсно-наполненных полимерных композиционных материалов 14

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

Лернер И.М., Чернявский С.М., Кадушкин В.В.

К вопросу построения радиотехнической системы передачи информации, функционирующей на основе теории разрешающего времени и использующую ЧМн-п-сигнал с непрерывной фазой 22

Убанкин Е.И., Павликов С.Н., Черновол М.Ю., Зимарева Е.А.

Изменение структуры автоматизированной системы управления организацией воздушного движения в аэропорту 36

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Карпов М.А., Михаил И.И., Ракицкий С.Н., Данилова Е.И.

Управление системой безопасности информационного обеспечения спортивных мероприятий на основе алгоритмов функционирования искусственной нейронной сети 46

Королев И.Д., Попов В.И., Коноваленко С.А.

Методика аналитической обработки распределенных во времени инцидентов информационной безопасности 53

Лобанева Е.И., Лазарев А.И.

Автоматизация процесса тестирования уязвимостей в корпоративных системах на основе нейро-нечётких алгоритмов 62

Смирнов Б.П., Зверев А.Б., Легков К.Е.

Методика формирования единого комплекса описания данных в системе информационных технологий единого информационного пространства специального назначения 74

Сухопаров М.Е., Семенов В.В., Лебедев И.С., Гаранин А.В.

Подход к анализу состояния узлов «индустрии 4.0» на основе поведенческих паттернов 83



CONTENTS

AVIATION, SPACE-ROCKET HARDWARE

Zimovets A.I., Zotkin M.Y., Khomonenko A.D., Yakovlev E.L.
Identification of space object based on integration of data from various sources and fuzzy inference 4

Markov A.V., Efremov N.Yu., Oreshina O.A.
Risk assessment when optimizing the composition of radio-absorbing dispersed-filled polymer composite materials 14

RF TECHNOLOGY AND COMMUNICATION

Lerner I.M., Chernyavskii S.M., Kadushkin V.V.
The development of radioengineering data transmission system for FSK-*n* signals with continuous phase based on the theory of resolution time 22

Ubankin E.I., Pavlikov S.N., Chernovol M.U., Simareva E.A.
Changing the structure of the automated air traffic control system at the airport 36

INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND CONTROL

Karpov M.A., Michael I.I., Rakitsky S.N., Danilova E.I.
Management of the security system for information support of sports events based on algorithms for the functioning of an artificial neural network 46

Korolev I.D., Popov V.I., Konovalenko S.A.
Analytical treatment technique distributed during information security incidents in time 53

Lobaneva E.I., Lazarev A.I.
Automation of vulnerability testing process in corporate systems for basic neuro-fuzzy algorithms 62

Smirnov B.P., Zverev A.B., Legkov K.E.
Methods of forming a single data description complex in the informati on technology system of a single special-purpose information space 74

Sukhoparov M.E., Semenov V.V., Lebedev I.S., Garanin A.V.
An approach to analyzing the state of Industry 4.0 nodes based on behavioral p 83

Founder:
"Media Publisher", LLC

Publisher:
DYMKOVA S.S.

Editor in chief:
LEGKOV K.E.

Editorial board:
BOBROWSKY V.I., PhD, Docent;
BORISOV V.V., PhD, Full Professor;
BUDKO P.A., PhD, Full Professor;
BUDNIKOV S.A., PhD, Docent,
Actual Member of the Academy of Education Informatization;
VERHOVA G.V., PhD, Full Professor;
GONCHAREVSKY V.S., PhD, Full Professor,
Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation;
KOMASHINSKIY V.I., PhD, Full Professor;
KIRPANEEV A.V., PhD, Docent;
KURNOSOV V.I., PhD, Full Professor,
Academician of the International Academy of Informatization, law and order,
Member of the Academy of Natural Sciences;
MOROZOV A.V., PhD, Full Professor,
Actual Member of the Academy of Military Sciences;
MOSHAK N.N., PhD, Docent;
PAVLOV A.N., PhD, Full Professor;
PROROK V.Y., PhD, Full Professor;
SEME NOV S.S., PhD, Docent;
SINICYN E.A., PhD, Full Professor;
SHATR AKOV Y.G., PhD, Full Professor,
Honored Worker of Science of the Russian Federation.

Address of publisher:
111024, Russia, Moscow,
st. Aviamotornaya, 8, office 512-514;

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

Address of printing house:
Russia, Moscow, st. Skladochnaya, 3, h. 6

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



doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-5-4-13

ИДЕНТИФИКАЦИЯ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ ДАННЫХ ОТ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ И НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА

ЗИМОВЕЦ**Алена Игоревна¹****ЗОТКИН****Максим Юрьевич²****ХОМОНЕНКО****Анатолий Дмитриевич³****ЯКОВЛЕВ****Евгений Леонидович⁴**

АННОТАЦИЯ

Для систем мониторинга околоземного космического пространства одной из важнейших является задача распознавания космических объектов, включающая в себя подзадачи классификации космических объектов по типу (космический аппарат), ракета-носитель, элементы запуска или функционирования космических аппаратов, фрагменты разрушения и т.д.) и его идентификации (государственной принадлежности, целевого назначения, степени опасности, функционального состояния и т.д.). Целью работы является решение задачи повышения оперативности и точности идентификации различных космических объектов на основе интеграции данных, получаемых от радиолокационных, радиотехнических, оптико-электронных и перспективных квантово-оптических (лазерно-оптических) средств и обработки их с помощью алгоритмов нечеткого вывода и/или с помощью нейронных сетей и нечеткого вывода. Рассмотрены отечественные и зарубежные средства мониторинга околоземного космического пространства, приведены их основные технические характеристики и сравнение. Решение этой задачи обосновано важными народно-хозяйственными и экологическими целями, так как большую часть космических объектов на орбите Земли составляет космический мусор. Для решения задачи предложена база правил для нечеткого вывода наиболее подходящего варианта идентификации различных космических объектов для заданных условий обстановки и погодных условий, состава средств контроля космического пространства. Кроме того, проведено обучение нечеткой нейронной сети в редакторе ANFIS с помощью данных информационно-аналитических отчетов многоканального мониторингового телескопа ММТ-9, приведена структура сгенерированной нечеткой нейронной сети. На основе сравнения показано, что классификация космических объектов с помощью нейронных сетей и нечеткого вывода осуществляется точнее, чем с нечетким выводом на основе алгоритма Мамдани, но требует длительного обучения. Показано, что на основе интеграции данных от различных источников обеспечивается повышение оперативности идентификации космических объектов с сохранением необходимой точности распознавания. Сделаны выводы о целесообразности использования функции принадлежности, приводятся результаты численных расчетов и результаты моделирования в среде Matlab.

Сведения об авторах:

¹адъюнкт Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, zim_alenka@rambler.ru

²к.т.н., преподаватель Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, max053@yandex.ru

³д.т.н., заведующий кафедрой Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I; профессор Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, khomon@mail.ru

⁴к.т.н., преподаватель Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, evgen-1932@yandex.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: интеграция данных от различных источников; контроль космического пространства, база правил нечеткого вывода; алгоритм Мамдани; нечеткая нейронная сеть; классификация и идентификация космических объектов.

Для цитирования: Зимовец А.И., Зоткин М.Ю., Хомоненко А.Д., Яковлев Е.Л. Идентификация космических объектов на основе интеграции данных от различных систем наблюдения и нечеткого вывода // Научно-технические исследования в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 5. С. 4-13. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-5-4-13

Введение

Необходимость контроля и мониторинга околоземного космического пространства (ОКП) обусловлена важными военными и народно-хозяйственными целями. Всесторонний анализ состояния и перспектив по созданию электронного каталога объектов ОКП проведен в статье [1]. Для систем мониторинга ОКП одной из важнейших является задача распознавания космических объектов, включающая в себя подзадачи классификации КО по типу (КА, РН, элементы запуска или функционирования КА, фрагмент разрушения и т.д.) и его идентификации (государственной принадлежности, целевого назначения, степени опасности, функционального состояния и т.д.). Своевременное обнаружение искусственных спутников земли, представляющих опасность для окружающей среды и космических объектов, определение национальной принадлежности таких КА, их функционального состояния и других характеристик, позволяет повысить безопасность космических полетов, а также обеспечить сохранность благополучной экологической и политической обстановки.

Распознаванием и сопровождением информации о космических объектах занимается система контроля космического пространства (СККП), включающая в себя оптико-электронные, радиолокационные и лазерно-оптические средства распознавания, ряд гражданских организаций, таких как Пушинская радиоастрономическая обсерватория Астрокосмического центра ФИАН им. Лебедева, Институт прикладной математики имени Келдыша РАН и другие. При этом возникает проблема разнородности и неполноты информации о КО, которая связана с необходимостью обработки большого объема зачастую повторяющейся и противоречивой информации о космических объектах из различных источников.

Существующие подходы к распознаванию космических объектов не позволяют обеспечить в полной мере достаточную оперативность классификации и идентификации космических объектов с надлежащей точностью. В основном это обусловлено тем, что точность измерения параметров распознаваемых космических объектов сильно зависит от наличия помех, определяемых погодными условиями и другими факторами, например, такими как высота орбиты, угол наклона и другие. Отсюда неизбежно возникает нечеткость определения измеряемых параметров распознаваемых космических объектов.

Предлагаемый подход основан на применении математического аппарата нечеткого вывода [2–4], искусственных нейронных сетей [6–8] и интеграции информации о космических объектах из различных источников [9,10]. Нечеткий вывод, например, с помощью алгоритмов Мамдани, Ларсена, Такаги-Сугено в сравнении с нейронными сетями более прост по числу правил и имеет наглядный семантический смысл правил.

С другой стороны, использование нейронной сети на основе обучения позволяет выполнить проверку адекватности решения, получаемого с помощью алгоритмов нечеткого вывода. Кроме того, оно позволяет соотносить разнородную информацию (такую как параметры блеска КО, лазерно-оптические и радиолокационные параметры), дополняя, таким образом, недостающие параметры, можно улучшить количественные и качественные показатели.

Интеграция данных из различных источников на основе нечеткого вывода

В системе контроля космического пространства основными источниками данных являются: оптико-электронные, радиолокационные и квантово-оптические средства распознавания. Они обладают различными характеристиками точности и дальности измерений [11–15]. При этом названные характеристики в случае применения оптико-электронных средств сильно зависят погодных условий их применения. С учетом отмеченного для обеспечения высоких характеристик оперативности и точности представляется целесообразным для отбора информации о контролируемых космических объектах использовать алгоритмы нечеткого вывода (Мамдани, Ларсена, Такаги-Сугено и др.) [2,3] и нейронные сети [4,6,8,9].

Схема интеграции данных при решении задач идентификации и распознавания использованием космических объектов на основе алгоритмов нечеткого вывода и/или нечеткой нейронной сети приведена на рис. 1.

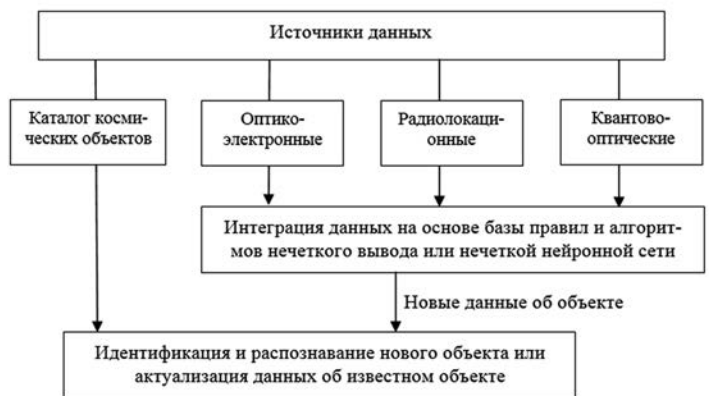


Рис. 1. Схема интеграции данных при идентификации и распознавании КО

При интеграции данных в интересах идентификации и распознавания космических объектов естественно учитывать технические характеристики используемых средств контроля космического пространства, погодные условия и удаленность наблюдаемых космических объектов. Основные технические характеристики современных СККП

рассматриваются в [13–15]. В частности, Европейская радиолокационная система некогерентного рассеяния «Еискат-3Д» (EISCAT — European Incoherent Scatter Radars) на севере Скандинавии, предназначена для изучения полярной ионосферы Земли, а также решения задач контроля космического пространства, позволит осуществлять непрерывный контроль области низких околоземных орбит с распознаванием и каталогизацией КО в близком к реальному масштабу времени. Предполагается, что она будет способна обнаруживать КО искусственного происхождения размером от 1,5–2 см на дальности до 1000 км [15].

Двухдиапазонная (дм-/см-диапазоны) моноимпульсная РЛС «Тира» (TIRA — Tracking Imaging Radar) на радиолокационном посту Института физики высоких частот и радиолокационной техники Общества Фраунгофера (Fraunhofer-FHR — Fraunhofer Institute for High Frequency Physics and Radar Techniques) в 10 км южнее г. Бонн, Германия). РЛС «Тира» позволяет обнаруживать воздушные цели диаметром более 0,2 (2) м на орбитах высотой до 1000 (40 тыс.) км, измерять угломестные и азимутальные параметры КО, а также доплеровскую скорость и определять параметры их орбит в реальном масштабе времени [13–15].

Европейское космическое агентство (ЕКА) с 2009 года реализует программу создания европейской системы контроля космического пространства (ЕвроККП) в рамках программы «Ситуационная осведомленность в космосе» — ССАП (SSAP — Space Situational Awareness Programme). Основной целью ССАП является обеспечение независимого контроля и использования космического пространства странами Европы путем сбора и предоставления заинтересованным потребителям своевременной и качественной ин-

формации о состоянии космической обстановки и прогнозе ее развития. ЕКА для наблюдения за областями средних околоземных (2000–33800 км) и геосинхронных (33800–37800 км) орбит задействует наземные оптико-электронные и квантово-оптические разведывательно-информационные средства, которые функционально разделены на обзорные и измерительные [16].

Роботизированный телескоп «Цимлат» (ZIMLAT — Zimmerwald Laser and Astrometric Telescope) обсерватории Циммервальд астрономического института Бернского университета (Швейцария); представляет собой автоматический квантово-электронный комплекс, решающий задачи астрометрии КО естественного и искусственного происхождения, а также измерения дальности до КА на высоте 300–23000 км в режиме станции лазерной дальнометрии [16].

Распознавание КО на основе аппарата нечеткого вывода

Для решения поставленной задачи введем набор из 7 входных лингвистических переменных (ЛП), указанных в табл. 1. Результатом служит выходная лингвистическая переменная RESULT (табл. 2), значения которой определяют предполагаемый класс КО.

При построении системы принято решение о использовании алгоритма нечеткого вывода Мамдани, как наиболее часто используемого и имеющего наглядное представление базы правил. Алгоритм Мамдани предложен одним из первых и описывается следующим образом [3]:

Правило 1: ЕСЛИ x_1 есть A_{11} И x_2 есть A_{12} И x_3 есть A_{13} И x_4 есть A_{14} ТО y есть B_1 ,

Таблица 1

Входные лингвистические переменные

	Смысл ЛП	Название ЛП	Термы ЛП				
			Очень низкая	Низкая	Средняя	Высокая	Очень высокая
1	Средний приведенный блеск ОЭ	Shine	A1 >7	A2 8÷5	A3 6÷2	A4 3÷-1	A5 <0
2	Эквивалентная площадь рассеяния, м ²	ESS	B1 <0,2	B2 0,1÷3		B3 >2	
3	Высота перигея, км	HP	C1 <350	C2 300÷500	C3 400÷1000	C4 800÷10000	C5 >10000
4	Высота апогея, км	HA	D1 <350	D2 300÷500	D3 400÷1000	D4 800÷10000	D5 >10000
5	Наклонение орбиты, °	OI	E1 <40	E2 30÷80	E3 60÷120	E4 120÷170	E5 <160
6	Периодичность изменения блеска, с	PCS	F1 <150		F2 100÷200		F3 >300
7	Период обращения, мин	OP	G1 <90		G2 70÷250		G3 >200

Таблица 2

Выходная лингвистическая переменная

	Смысл ЛП	Название ЛП	Термы ЛП					
			Y1 ДЗЗ <8	Y2 Фрагмент разрушения 6÷16	Y3 Мобильная связь 14÷26	Y4 Интернет OneWeb 24÷36	Y5 Интернет Starlink 34÷46	Y6 КО неизвестного типа 44÷56
1	Класс КО	RESULT						

Правило 2: ЕСЛИ x_1 есть A_{21} И x_2 есть A_{22} И x_3 есть A_{23} И x_4 есть A_{24} ТО y есть B_2 .

Для нахождения степени истинности условий каждого из правил нечетких продукций используются парные нечеткие логические операции. Правила, степень истинности условий которых отлична от нуля, считаются активными.

Активизация подзаключений в нечетких правилах продукций выполняется с помощью min-активизации по формуле

$$\mu'(y) = \min\{c_p, \mu(y)\} \quad (1)$$

причем, для сокращения времени вывода учитываются только активные правила.

Дефаззификация выходных переменных выполняется с использованием метода центра тяжести или метода центра площади.

При заданных предпосылках, обозначениях лингвистических переменных и значениях термов приведем для примера несколько правил для принятия решения о принадлежности КО к заданным классам в зависимости от исходных данных. Правила сформулированы на основе данных глобальных каталогов [16] и анализа фотометрической информации по космическим объектам на околоземных орбитах:

R1: Если Shine есть A5 И ESS есть B3 И HP есть C5 И HA есть D5 И OI есть E1 И PCS есть F1 И OP есть G3 То RESULTS: есть Y2;

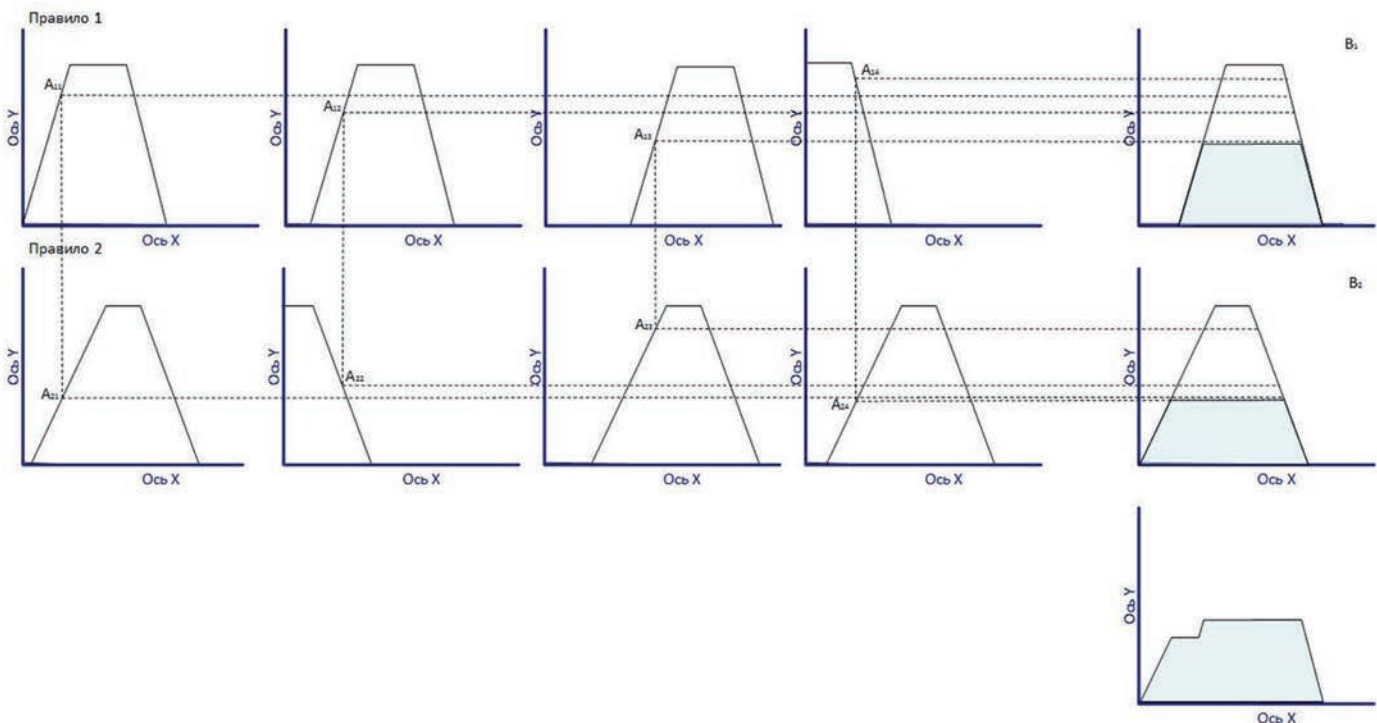


Рис. 2. Построение функции принадлежности выходной лингвистической переменной

R2: Если Shine есть A3 И ESS есть B1 И HP есть C3 И HA есть D3 И OI есть E3 И PCS есть F3 И OP есть G2 То RESULTS: есть Y3;

R3: Если Shine есть A3 И ESS есть B1 И HP есть C3 И HA есть D3 И OI есть E2 И PCS есть F3 И OP есть G3 То RESULTS есть Y5.

Правила R1, R2, R3 описывают соответственно классы КО — фрагменты разрушения, аппараты мобильной связи и аппараты интернета StarLink.

Для построения предлагаемой системы нечеткого вывода использовалось 7 входных лингвистических переменных с различным числом функций принадлежности у каждой. В базе правил нельзя разместить больше вариантов правил, чем произведение числа функций принадлежности всех входных переменных. Для данной системы максимально возможное количество составляет 16875, однако для адекватной работы обычно достаточно двух — трех правил на каждый класс. Всего при построении базы правил использовано 20 правил.

При проведении численных расчетов для примера нами для простоты использовались треугольная (trimf) и трапецидальная (trapezmf) функции принадлежности нечетких множеств [3]. Использование других видов функций принадлежности (гауссовой, двойной гауссовой, обобщенная колоколообразной, сигмоидальной и других), на наш взгляд, целесообразно при наличии экспертных оценок и необходимости повышения точности нечеткого вывода.

Распознавание КО на основе аппарата нечетких нейронных сетей

В общем случае космические объекты в различные моменты времени с определенной долей вероятности находятся в той или иной точке в пространстве. Если задавать характеристики и стратегии движения КО в виде интервалов возможных значений, результатом будет множество параметров движения и маневров. Следует учитывать и тот факт, что от длительного пребывания в косми-

ческом пространстве меняются механические, оптические и другие свойства материалов космических аппаратов, что с течением времени может повлиять на точность распознавания КО.

Для моделирования рассматриваемого примера использовался графический редактор адаптивных сетей ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) среды MATLAB. ANFIS-редактор позволяет автоматически сгенерировать из экспериментальных данных нечеткую нейронную сеть [17]. Функции принадлежности синтезированных систем настроены (обучены) так, чтобы минимизировать отклонения между результатами нечеткого моделирования и экспериментальными данными. Экспериментальные данные и результаты моделирования выводятся в виде множества точек в двумерном пространстве. По оси абсцисс откладывается порядковый номер строки в выборки, по оси ординат — значение выходной переменной для данной строки

Смоделированная система нечеткого вывода содержит семь лингвистических переменных с тремя или пятью термами (в соответствии с таблицей 1), 16875 правил нечетких продукций и одну выходную переменную. Для обучения нейронной сети задается гибридный метод (см. [21]), представляющий собой комбинацию метода наименьших квадратов и метода убывания обратного градиента, уровень ошибки обучения — 0, количество циклов обучения — 3. Результаты моделирования представлены на рис. 3–5. В табл.3 представлен фрагмент обучающей выборки для нечеткой нейронной сети, которая состоит из семи входных переменных и одной выходной:

- in1 — звездная величина КО (Shine);
- in2 — эффективная площадь рассеивания (ESS);
- in3 — перигей (HP);
- in4 — апогей (HA);
- in5 — угол наклона (OI);
- in6 — периодичность блеска КО (PCS);
- in7 — период обращения КО (OP);
- out — классификация КО по типу применения.

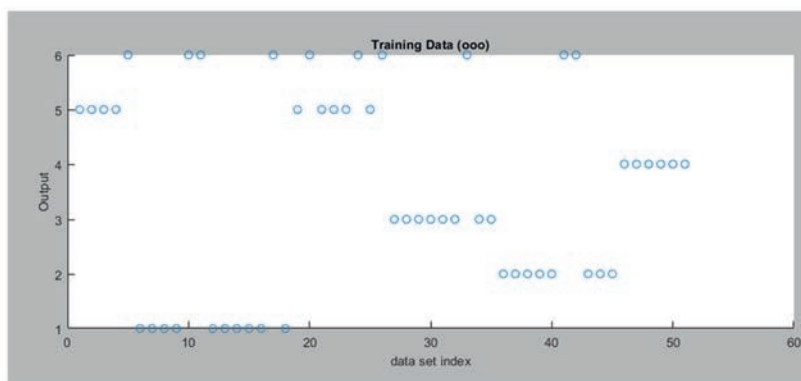


Рис. 3. Загрузка обучающих данных в редактор нейро-нечеткой системы ANFIS



Таблица 3

Фрагмент обучающей выборки для модели гибридной сети

in1	in2	in3	in4	in5	in6	in7	out
5,4	0	777	779	86,39	0	100,4	Iridium
9	0	651	1260	45,26	1,1	104,17	F/DEB
2,2	0,02	472	34766	7,95	19,18	616,58	F/DEB
7,8	0,08	736	824	99,07	0	100,45	F/DEB
6,5	0,05	787	790	98,72	0	100,63	F/DEB
6,1	0	776	779	86,4	0	100,4	Iridium
5,2	0	9154	36161	22,41	3,42	820,64	F/DEB
7,2	0,04	1246	1301	90,3	0	111,02	F/DEB
5,1	0	8679	36460	22,39	0,51	816,9	F/DEB
7,9	0	1023	1052	87,8	0	105,93	OneWeb
7,7	0	987	1015	87,78	0	105,14	OneWeb
6,9	0	987	1014	87,77	0	105,13	OneWeb

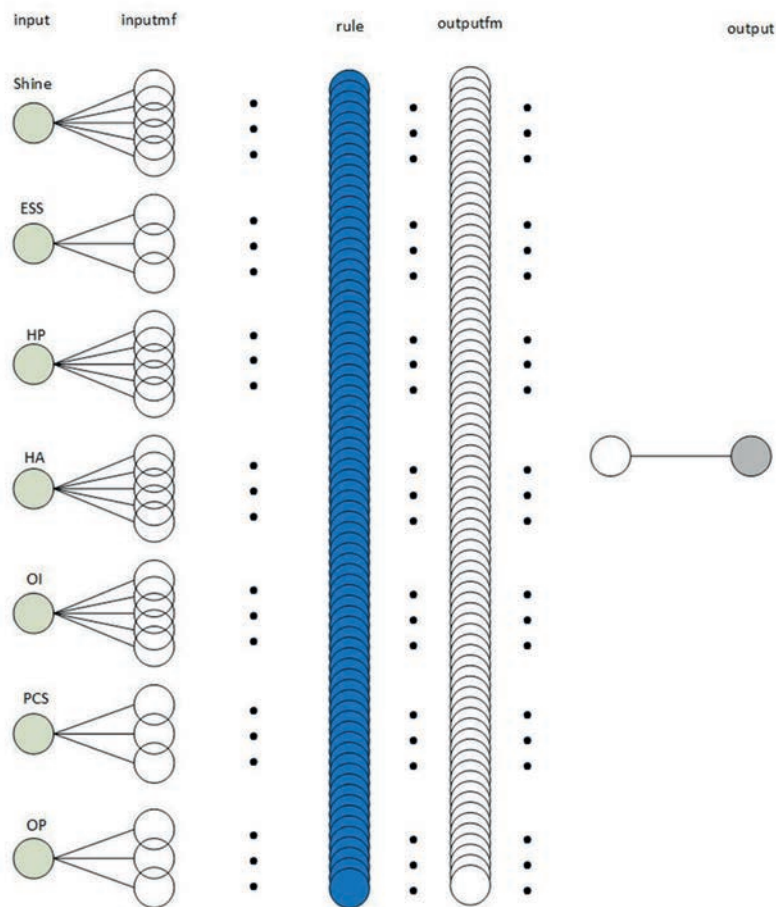


Рис. 4. Структура сгенерированной системы нечеткого вывода

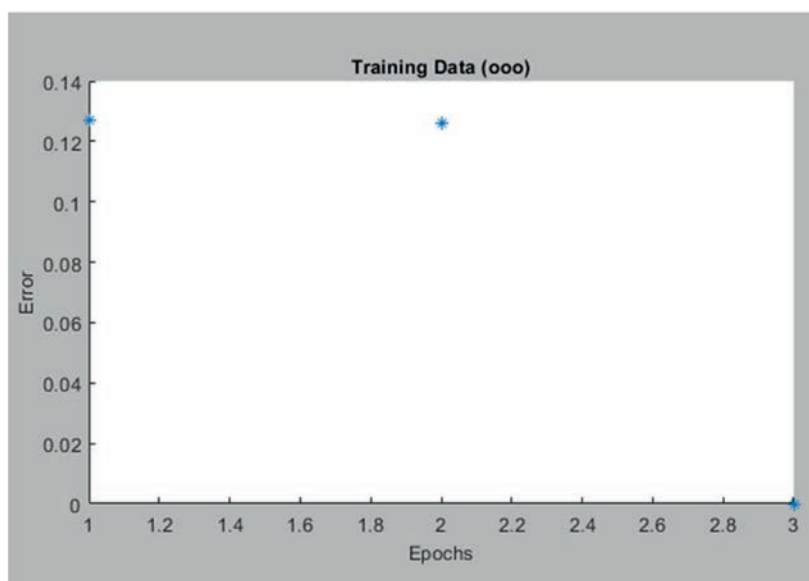


Рис. 5. График зависимости ошибок обучения от числа циклов обучения

В связи с этим предлагается дополнительно использовать математический аппарат нечетких искусственных нейронных сетей. Преимущества использования нейронных сетей заключаются в следующем:

1. Свойство ассоциативности, позволяющее обрабатывать множество КО и оперировать образами ситуаций моделирования, а не их отдельными описаниями;
2. Способность к обучению, которая дает возможность получать устойчивые решения по результатам имитационного моделирования прикладных задач в реальном масштабе времени.

Сравнение результатов распознавания КО на основе нечеткого вывода и нейро-нечетких сетей в среде MatLab

Результаты сравнительного анализа использования алгоритма нечеткого вывода Мамдани и нейро-нечеткой сети представлены в табл. 4.

Для проверки адекватности моделей использовались данные, не входившие в обучающую выборку. Анализ показывает, что классификация КО с помощью нейро-нечетких сетей осуществляется точнее, чем с нечетким выводом на основе алгоритма Мамдани, но требует дли-

тельного обучения. В свою очередь, нечеткий вывод намного проще по числу используемых правил и более понятен семантический смысл правил.

Заключение

В статье рассмотрены задачи, поставленные перед системой контроля космического пространства, представлены система нечетких правил и структура нечеткой нейронной сети для распознавания космических объектов. Проведено их сравнение. В настоящее время на распознавание КО может уйти до нескольких суток, что может быть неприемлемо. Предложенный подход к решению задач идентификации и распознавания КО на основе интеграции данных и алгоритмов нечеткого вывода позволяет заметно повысить оперативность и результативность этого процесса. Потенциальная степень повышения характеристик оперативности идентификации и распознавания КО существенно зависит от погодных условий, и может изменяться в разы.

Литература

1. Груздев С. С., Журкин И. Г., Орлов П. Ю., Панкин А. В. Анализ состояния и перспектив по созданию электронного каталога объектов околоземного космического пространства //

Таблица 4

Результаты сравнения способов классификации КО

Способ классификации	Точность классификации	Число правил
Алгоритм Мамдани	0.78	20
Нейро-нечеткая сеть	0.93	16875



Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2016. Т. 13. № 6. С. 51–59.

2. *Дороженко А.И.* Модели информационных систем на основе теории нечетких множеств // Вестник Ростовского Государственного экономического университета (РИНХ). 2007. № 1 (23). С. 76–82.

3. *Манжула В.Г., Федяшов Д.С.* Нейронные сети Кохонена и нечеткие нейронные сети в интеллектуальном анализе данных // Фундаментальные исследования. 2011. № 4. С. 108–115.

4. *Парамонов И.Ю., Смагин В.А., Косых Н.Е., Хомоненко А.Д.* Методы и модели исследования сложных систем и обработки больших данных. Монография. СПб: Лань, 2020. 236 с.

5. *Хомоненко А.Д., Яковлев Е.Л.* Обоснование архитектуры сверточной нейронной сети для автономного распознавания объектов на изображениях бортовой вычислительной системой // Научные труды в космических исследованиях Земли. 2018. Т. 10. № 6. С. 86–93.

6. *Пророк В.Я., Шаймухаметов Ш.И.* Моделирование движения маневрирующих летательных аппаратов на основе нечетких искусственных нейронных сетей // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2017. № 656. С. 18–24.

7. *Сухарева М.А., Виниченко М.В.* Построение экспертных систем с применением технологий искусственного интеллекта как системы поддержки принятия управленческих решений // Новое поколение. 2019. № 20. С. 77–83.

8. *Янаева М.В., Синченко Е.В.* Нечеткие нейронные сети в интеллектуальном анализе данных // Научные труды КубГТУ. 2016. № 15. С. 80–93.

9. *Лепешкин С.А., Мишуков О.А.* Особенности совместной обработки разномасштабных изображений в автоматизированных системах дистанционного зондирования распре-

деленных объектов // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2018. № 664. С. 131–140.

10. *Khomonenko A. D., Plyaskin S. P., Zimovets A. I.* About complex objects defining via integration of data from various sources // MMISR2019 Models and methods of information systems research workshop in the flame of the Betancourt International Engineering Forum, 2020. Pp.46–51.

11. *Дятлов В.* Основные направления развития наземных опто-электронных средств контроля космического пространства США // Зарубежное военное обозрение. 2006. № 1. С. 50–55.

12. *Дятлов В.* Основные направления развития наземных опто-электронных средств контроля космического пространства США // Зарубежное военное обозрение. 2006. № 2. С. 30–35.

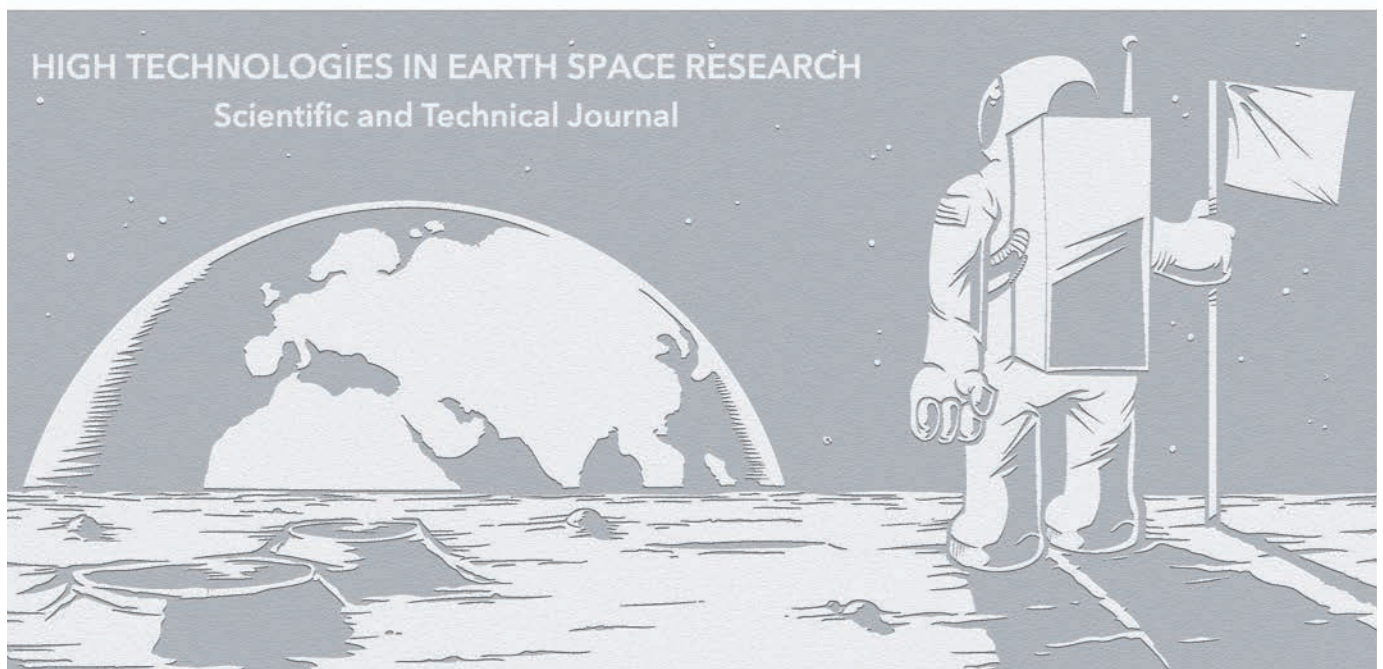
13. *Пак Я., Хабаров Е., Калинин М.* Наземные радиолокационные средства системы контроля космического пространства // Зарубежное военное обозрение. 2017. № 6. С. 50–60.

14. *Пак Я., Хабаров Е., Калинин М.* Наземные оптико-электронные и квантово-оптические средства европейской системы контроля космического пространства // Зарубежное военное обозрение. 2016. № 8. С. 63–70.

15. *Пак Я., Хабаров Е., Калинин М.* Наземные оптико-электронные и квантово-оптические средства европейской системы контроля космического пространства // Зарубежное военное обозрение. 2016. № 9. С. 69–74.

16. Информационно-аналитические отчеты «Многоканальный мониторинговый телескоп ММТ. Результаты анализа фотометрической информации по космическим объектам на околоземных орбитах». URL: <http://mmt9.ru> (дата обращения 27.08.2020).

17. *Jyh-Shing Roger Jang.* ANFIS: Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. 1993. Vol. 23. No. 3. Pp. 665–685.





IDENTIFICATION OF SPACE OBJECT BASED ON INTEGRATION OF DATA FROM VARIOUS SOURCES AND FUZZY INFERENCE

ALENA I. ZIMOVETS

St-Petersburg, Russia, zim_alenka@rambler.ru

MAXIM Y. ZOTKIN

St-Petersburg, Russia, max053@yandex.ru

ANATOLY D. KHOMONENKO

St-Petersburg, Russia, khomonenko@pgups.ru

EUGENIY L. YAKOVLEV

St-Petersburg, Russia, evgen-1932@yandex.ru

KEYWORDS: integration data from various sources; space control; fuzzy inference rule base; fuzzy neural network; classification and identification of space object.

ABSTRACT

For monitoring near-earth space, one of the most important tasks of recognizing space objects, which includes subtasks of classification of space objects by type (spacecraft, launch vehicle, elements of launching or functioning of spacecraft, fragments of destruction, etc.) and its identification (nationality, intended purpose, degree of danger, functional state, etc.). The aim of the work is to solve the problem of increasing the efficiency and accuracy of various space objects based on the integration of data obtained from radar, radio engineering, optoelectronic and promising quantum-optical (laser-optical) means and processing them using algorithms of fuzzy inference and / or with using neural networks and fuzzy inference. Domestic and foreign means of monitoring near-earth space are considered, their technical characteristics and comparison are presented. The solution to this problem is justified by important national economic and environmental goals, since most of the space objects in the Earth's orbit are space debris. To solve the problem, a rule base is proposed for fuzzy conclusions of the most appropriate approach for determining various types of objects for given conditions and the composition of space control facilities. In addition, a fuzzy neural network was trained in the ANFIS editor using information and analytical reports from that multi-channel monitoring telescope MMT-9, the structure of the generated fuzzy neural network is shown. Based on the comparison, it is shown that the classification of space objects using neural networks and odd inference is more accurate than with fuzzy inference based on the Mamdani algorithm, but requires long training. It is shown that on the basis of increasing the efficiency of using the modern capabilities of space objects with high recognition accuracy. Conclusions are made about the results of using the use functions, numerical calculations and models in the Matlab environment are presented.

REFERENCES

1. Gruzdev S.S., Zhurkin I.G., Orlov P. Yu., Pankin A.V. Analis sostoyaniya i perspectiv po sozdaniyu elektronnoy kataloga ob'ektov okolozemnogo kosmicheskogo prostranstva [Analysis of the current state and prospects for the development of a digital catalog of object in the near-space]. *Sovremennyye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemly iz kosmosa*. 2016. Vol. 13. No. 6. Pp.51-59. (In Rus)
2. Dorozhenko A.I. Modeli informacionnyh system na osnove teorii nechetkih mnozhestv. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta*. 2007. No.1 (23). Pp.76-82. (In Rus)
3. Manzhula V.G., Fedyashov D.S. Neironnye sety Kohonena i nechetkie neironnye sety v intellektualnom analize dannyh [Kohonen neural networks and fuzzy neural networks in data mining]. *Fundamentalnye issledovaniya*. 2011. No. 4. Pp. 108-115. (In Rus)
4. Paramonov I. Yu., Smagin V.A., Kosyh N.E., Khomonenko A.D. *Metody i modeli issledovaniya slozhnyh system i obrabotki bolshih dannyh. Monograph* [Models and methods for the study of complex system and big data processing] Sankt-Petersburg: Lan, 2020. 236 p. (In Rus)
5. Khomonenko A.D., Yakovlev E.L. The rationale for the architecture of the convolutional neural network for object recognition on images on-board computer system. *H&ES Research*. 2018. Vol. 10. No. 6. Pp. 86-93. (In Rus)
6. Prorok V. Ya., Shaimuhametov Sh.I. Modelirovanie dvizheniya vanevriyushih letatelnykh apparatov na osnove nechetkih iskusstvennykh neironnykh setey [Simulation of maneuvering aircraft movement based on fuzzy artificial neural networks]. *Trudy VKA imeni A.F. Mozhaikogo*. 2017. No. 656. Pp. 18-24. (In Rus)
7. Suhareva M.A., Vinixhenko M.V. Postroyeniye ekspertnykh system s primeneniem tehnologii iskustvennogointellekta kak sistemy podderzhki prinyatiya upravlencheskih reshenii [Building expert systems using artificial intelligence technologies as a management decision support



system]. *Novoe pokolenie* [New generation] 2019. No. 20. Pp.77-83.

8. Yanaeva M.V., Sinchenko E.V. Nechetkie neironnye sety v intellektualnom analize dannyh [Fuzzy neural networks in data mining]. *Nauchnye Trudy KubGTU*. 2016. No. 15. Pp. 80-93. (In Rus)

9. Lepeshkin S.A., Mishukov O.A. Osobennosti sovmesnoj obrbotki raznospectralnyh izobrazhenii v avtomatizirovannyh sistemah distancionnogo zondirovaniya Zemli [Features of joint processing of multispectral images in automated remote sensing systems for distributed objects]. *Trudy VKA imeni A.F. Mozhaiskogo*. 2018. No. 664. Pp. 31-140. (In Rus)

10. Khomonenko A.D., Plyaskin S.P., Zimovets A.I. About complex objects defining via integration of data from various sources. *MMISR2019 Models and methods of information systems research workshop in the flame of the Betancourt International Engineering Forum, 2020*. Pp. 46-51. (In Rus)

11. Dyatlov V. Osnovnye naoravleniya razvitiya nazemnyh opto-elektronnyh sredstv kontrolya kosmicheskogo prostranstva USA [The main directions of development of ground-based optoelectronic space control systems in the United States]. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie*. 2006. No. 1. Pp. 50-55. (In Rus)

12. Dyatlov V. Osnovnye naoravleniya razvitiya nazemnyh opto-elektronnyh sredstv kontrolya kosmicheskogo prostranstva USA [The main directions of development of ground-based optoelectronic space control systems in the United States]. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie*. 2006. No. 2. Pp. 30-35. (In Rus)

13. Pak Ya., Khabarov E., Kalinin M. Nazemnye radiolokacionnye sredstva sistemy kontrolya kosmicheskogo prostranstva [Ground-based

radar facilities of the space control system]. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie*. 2017. No. 6. Pp. 50-60. (In Rus)

14. Pak Ya., Khabarov E., Kalinin M. Nazemnye opto-elektronnye i kvantovo-opticheskie sredstva evropeiskoi sistemy kontrolya kosmicheskogo prostranstva [Ground-based optoelectronic and quantum optical devices of the European space monitoring system]. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie*. 2016. No. 8. Pp. 63-70. (In Rus)

15. Pak Ya., Khabarov E., Kalinin M. Nazemnye opto-elektronnye i kvantovo-opticheskie sredstva evropeiskoi sistemy kontrolya kosmicheskogo prostranstva [Ground-based optoelectronic and quantum optical devices of the European space monitoring system]. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie*. 2016. No. 9. Pp. 69-74. (In Rus)

16. Informational and analytical reports "Multy-channel monitoring telescope MMT". URL: <http://mmt9.ru> (date of access 27.08.2020). (In Rus)

17. Jyh-Shing Roger Jang. ANFIS: Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. 1993. Vol. 23. No. 3. Pp. 665-685.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

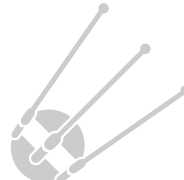
Zimovets A.I., postgraduate student of the Mozhaisky Military Space Academy;

Zotkin M.Y., PhD, lecturer of the Department of the Mozhaisky Military Space Academy;

Khomonenko A.D., PhD, head of the Department of the Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Professor of the Mozhaisky Military Space Academy;

Yakovlev E.L., PhD, lecturer of the Mozhaisky Military Space Academy.

For citation: Zimovets A.I., Zotkin M.Y., Khomonenko A.D., Yakovlev E.L. Identification of space object based on integration of data from various sources and fuzzy inference. *H&ES Research*. 2020. Vol. 12. No. 5. Pp. 4-13. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-5-4-13 (In Rus)





doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-5-14-21

ОЦЕНКА РИСКОВ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ СОСТАВА РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ ДИСПЕРСНО-НАПОЛНЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

МАРКОВ

Андрей Валентинович¹

ЕФРЕМОВ

Николай Юрьевич²

ОРЕШИНА

Ольга Анатольевна³

АННОТАЦИЯ

Проблема улучшения качества защиты от электромагнитного излучения электронных блоков управления летательных аппаратов неразрывно связана с уровнем применяемых материалов, который определяется их функциональными свойствами. В качестве таких материалов могут выступать радиопоглощающие дисперсно-наполненные полимерные композиционные материалы (РП ДНПКМ), для снижения себестоимости создания которых актуальна разработка системы прогнозирования показателей качества РП ДНПКМ. Предметом исследования являются РП ДНПКМ. Целью настоящего исследования является разработка алгоритма выбора оптимального состава РП ДНПКМ. Методология проведения исследования включает теории многокритериальной оптимизации и принятия решений. Для подтверждения основных положений разработанного алгоритма выбора оптимального состава РП ДНПКМ были проведены исследования на примере полимерного композиционного материала на основе каучука типа СКТН А, порошковых наполнителей двух типов и добавки ПМС-50. В результате установлено, что для получения нового радиопоглощающего дисперсно-наполненного полимерного композиционного материала со значением твердости (по Шору) 88,88 условных единиц, предела прочности $91,9 \cdot 10^4$ Па, относительного удлинения при растяжении 54,42% необходим следующий состав компонентов: силиконовый каучук типа СКТН А (матрица) – 25%, оксид железа (порошковый наполнитель) – 38%, гидроксид алюминия (порошковый наполнитель) – 37%, присадка ПМС-50-0. Предлагаемый в работе алгоритм выбора оптимального состава РП ДНПКМ может быть применен при создании новых функциональных материалов для авиакосмической отрасли. Разработанный алгоритм содержит блок оценки риска по критерию Сэвиджа, что снижает риск утверждения неоптимального состава полимерного композиционного материала. Таким образом еще на этапе компьютерного моделирования может быть принято решение по составу нового функционального материала, что уменьшает затраты на его создание и позволяет обеспечить требуемое качество, надежность и безопасность продукции, для которой предназначены создаваемые материалы.

Сведения об авторах:

¹д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Россия, markov-av@mail.ru

²к.т.н., доцент Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Россия, nicoefr@mail.ru

³ассистент кафедры Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Россия, olga_oresh@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: полимерные композиционные материалы; многокритериальная оптимизация; критерий Сэвиджа; допустимая уступка, радиопоглощение.

Для цитирования: Марков А.В., Ефремов Н.Ю., Орешина О.А. Оценка рисков при оптимизации состава радиопоглощающих дисперсно-наполненных полимерных композиционных материалов // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 5. С. 14–21. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-5-14-21



Введение

В современных реалиях аэрокосмическая промышленность является одним из основных заказчиков радиопоглощающих дисперсно-наполненных полимерных композиционных материалов (РП ДНПКМ). За счёт применения данных материалов в конструкциях летательных аппаратов (ЛА) происходит уменьшение воздействия электромагнитного излучения на электронные блоки системы управления ЛА. По своему составу и по технологии целевого применения наиболее универсальным сочетанием таких свойств по основным параметрам отличаются композиционные материалы на основе силиконовых эластомеров с порошковыми наполнителями различной степени дисперсности [1, 2].

РП ДНПКМ применяются для защиты от внешних помех электроники ЛА путем нанесения их на поверхность конструкции. Условия работы электронных блоков системы управления ЛА являются довольно жесткими по причине возможного несанкционированного электромагнитного воздействия. Одним из путей решения проблемы может стать формирование непроницаемых перегородок, которые позволяют обеспечить локализацию того блока, в котором происходит считывание сигнала. Это может быть обеспечено применением материалов, обладающих радиопоглощающими свойствами. Однако ассортимент подобных материалов не велик. В первую очередь к ним относятся металлы и металлические сплавы в виде готовых конструкционных модулей, а также металлические листы, которыми можно дублировать поверхность конструкций других материалов [3–6].

Поэтому возникает необходимость получения новых композиционных материалов, обладающих радиопоглощающими свойствами, которые можно наносить в качестве покрытия на всю величину внутренней поверхности защищаемого блока управления ЛА.

Постановка задачи

Синтезированный РП ДНПКМ является результатом взаимодействия полимерного связующего, наполнителя и модификатора. В РП ДНПКМ наполнители (например, оксид железа трехвалентного, карбонильное железо, оксиды никеля, кобальта, алюминия) придают материалу свойство радиопоглощения, но, в тоже время существенно влияют на его механические свойства (твёрдость, предел прочности при растяжении, относительное удлинение при растяжении), как правило, — в худшую сторону. Поэтому при создании новых РП ДНПКМ необходимо найти компромисс, т.е. при заданном коэффициенте отражения электромагнитных волн, который зависит от содержания наполнителя, необходимо оптимизировать механические характеристики РП ДНПКМ. Диапазоны изменений меха-

нических характеристик определяются конструктивными особенностями ЛА.

Разработкой РП ДНПКМ занимаются как крупные научно-исследовательские институты, так и предприятия малого бизнеса. Как правило, состав нового РП ДНПКМ назначается исходя из опыта специалистов, далее изготавливаются экспериментальные образцы. В результате исследований определяются коэффициент отражения электромагнитных волн и механические свойства. Если необходимо (в случае, когда коэффициент отражения электромагнитных волн и механические характеристики не удовлетворяют заданным требованиям), то вносятся изменения в рецептуру приготовления нового РП ДНПКМ и проводятся новые исследования свойств, пока не будет определен состав РП ДНПКМ с заданными механическими характеристиками и коэффициентом радиопоглощения. Таким образом, время, требуемое на создание нового РП ДНПКМ, составляет от нескольких недель до нескольких месяцев. Это не может не сказаться на себестоимости создания новых РП ДНПКМ. Отсюда возникает необходимость снижения себестоимости их создания, в первую очередь, за счет сокращения времени на определение состава РП ДНПКМ. Особенно это актуально для предприятий малого бизнеса. Поэтому возникает необходимость разработки математических моделей, описывающих взаимосвязь «состав РП ДНПКМ — механические свойства РП ДНПКМ», с возможностью последующей многокритериальной оптимизации механических свойств. При этом время на создание нового РП ДНПКМ может быть сокращено до нескольких недель. Оно в основном определяется временем, необходимым на изготовление экспериментальных образцов из нового РП ДНПКМ и последующего проведения исследований с целью подтверждения его рассчитанных характеристик.

Сокращение сроков разработки нового РП ДНПКМ не должно сказываться на безопасности эксплуатации объектов, к которым, прежде всего относятся ЛА, где будут установлены конструкции, выполненные с использованием РП ДНПКМ. Таким образом, при оптимизации механических характеристик создаваемого РП ДНПКМ необходимо применить математический аппарат, который позволял бы учитывать риски, а также минимизировал бы негативные последствия при утверждении состава РП ДНПКМ, которому соответствуют не вполне оптимальные механические характеристики.

Для решения задачи многокритериальной оптимизации ранжированных механических характеристик необходимо применить метод последовательных с оценкой риска по критерию Сэвиджа при назначении величины уступки (максимально допустимой величины уменьшения) для оптимизируемых механических характеристик.

Алгоритм выбора оптимального состава РП ДНПКМ

Для принятия решения по составу нового функционального материала с помощью компьютерного моделирования разработан следующий алгоритм, отображающий основные этапы получения оптимальных показателей качества РП ДНПКМ:

1. Анализ требований заказчика РП ДНПКМ, в результате которого определяются значения коэффициента отражения электромагнитного излучения и механических характеристик. На этом же этапе проводится ранжирование.

2. Выбор полимерного связующего, наполнителя и модификатора.

3. Разработка математических моделей «состав РП ДНПКМ — свойства РП ДНПКМ».

4. Выбор уступок для механических характеристик РП ДНПКМ с использованием критерия Сэвиджа.

5. Многокритериальная оптимизация механических характеристик РП ДНПКМ, в результате которой определяется состав (массовая доля полимерного связующего, наполнителя и модификатора) РП ДНПКМ.

6. Изготовление образцов из нового РП ДНПКМ и проведение экспериментальных исследований коэффициента отражения электромагнитного излучения и механических характеристик для подтверждения правильности выбора состава РП ДНПКМ.

В соответствии с предлагаемым алгоритмом выбора оптимального состава РП ДНПКМ разработано специальное программное обеспечение «Оптимизация состава радиопоглощающих полимерных композиционных материалов» (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020616892, автор О. А. Орешина), позволяющее автоматизировать компьютерный эксперимент.

Математические модели свойств РП ДНПКМ

РП ДНПКМ получают в результате синтеза полимерсодержащей основы, наполнителя, модифицирующей добавки, отвердителя. При этом массовая доля каждого компонента существенно влияет на свойства материала. Прежде всего, это относится к таким показателям как коэффициент отражения электромагнитных волн, твердость, предел прочности при растяжении, относительное удлинение при растяжении [7].

Разработка методов моделирования механического поведения композитов имеет практическую значимость. Она определена наличием случайной структуры и ее роли в формировании и образовании эффективных свойств композиционного материала. При сравнении композиционных материалов с однородными выделяются их существенные преимущества, на которые стоит обратить

внимание. К ним относятся высокое значение прочности и жесткости, усталостной долговечности [8, 9].

В результате проведенного обзора [10–15] выявлены недостатки при проведении прогнозирования свойств РП ДНПКМ, среди которых выделяются следующие: существенные ошибки получаемого прогноза, применение гипотезы в частных случаях, не учёт особенностей структуры исследуемого материала, ограниченность выдвигаемых предположений. В связи с этим возникает необходимость получения материала с определенным уровнем свойств.

Таким образом, возникает необходимость решения многокритериальной задачи оптимизации, а именно: выбор метода многокритериальной оптимизации, назначение величины уступки, обработка результатов эксперимента, анализ полученных результатов.

Наиболее важный показатель — коэффициент отражения не оптимизируется, так как необходимо получить материал с его максимальным значением.

Исследование проведено в рамках получения оптимального состава дисперсно-наполненных полимерных композиционных материалов, обладающих свойствами радиопоглощения. В качестве матрицы рассмотрен силиконовый каучук типа СКТН А (компонент x_1), наполнителями являются порошковые оксид железа (x_2) и гидроксид алюминия (x_3), последним компонентом x_4 является присадка полиметилсилоксана типа ПМС-50.

В качестве метода моделирования выбран метод Маклина — Андерсена (симплекс-решетчатое планирование эксперимента с ограничениями). При разработке математической модели применялся метод наименьших квадратов [16]

$$B = (F^T F)^{-1} F^T Y \quad (1)$$

где B — вектор искомых коэффициентов, F — матрица плана эксперимента; Y — столбец экспериментальных значений зависимой переменной.

В результате разработки математических моделей РП ДНПКМ были получены математические модели для таких характеристик, как твердость по Шору, предел прочности и относительное удлинение при растяжении (табл. 1). При расчетах использовалось ПО Minitab.

Оптимизация свойств радиопоглощающих РП ДНПКМ

Задача многокритериальной оптимизации решалась методом последовательных уступок. Математические модели, характеризующие взаимосвязь «состав РП ДНПКМ — свойства РП ДНПКМ», могут быть упорядочены в порядке убывания важности описываемой ими характеристики материала. При применении данного метода необходимо назначить величину допустимой уступки.



Таблица 1

Математические модели

Характеристика	Математическая модель
Твердость по Шору	$\tilde{y}_{\text{тв}} = 37,7x_1 + 119,2x_2 + 127,8x_3 + 57,9x_4 - 127,7x_1x_2 - 145,3x_1x_3 - 86,1x_1x_4 + 88,5x_2x_3 + 13x_2x_4$
Предел прочности	$\tilde{y}_{\text{проч}} = 22,48x_1 + 123,64x_2 + 138,01x_3 + 85,87x_4 - 69,18x_1x_2 - 83,71x_1x_3 - 36,67x_1x_4 + 18,13x_2x_3 - 14,56x_2x_4$
Относительное удлинение при растяжении	$\tilde{y}_{\text{удл}} = 163,38x_1 + 68,1x_2 + 59,3x_3 + 129,2x_4 - 385,9x_1x_2 - 366,2x_1x_3 - 400,6x_1x_4 + 283,6x_2x_3 - 49x_2x_4$

При постановке задачи получения РП ДНПКМ все характеристики (частные критерии) максимизируются и нумеруются в порядке убывания их важности. Уступка определяет возможность отклонения от максимального значения первого по важности критерия, чтобы максимизировать следующий за ним второй критерий.

При решении задачи оптимизации для сведения возможных ошибок к минимуму при назначении величины уступки выбран критерий Сэвиджа. Данный критерий применим в условиях неопределенности (неполноты информации о возможных значениях уступок) [17].

В результате проведения опроса экспертов [18] для определения величины допустимой уступки (δ_1 и δ_2) по рассматриваемым параметрам полученные значения занесены в таблицу 2.

Число экспертов в группе N вычисляется по формуле [19]:

$$N = \frac{t_p^2}{\varepsilon_i^2},$$

где $\varepsilon_i = \frac{\varepsilon}{S}$ — предельно допустимая относительная ошибка экспертной оценки, t_p — коэффициент Стьюдента, определяющий ширину доверительного интервала и зависимость от величины вероятности оценки P (t_p — табулированная величина); S — среднеквадратическое отклонение распределения оценок.

Минимальная численность экспертов в группе зависит от заданной погрешности экспертной оценки и выбранной ее величины. В данном случае для выбора величин уступок для твердости (δ_1) и прочности (δ_2) учитываются мнения 7 экспертов.

Для каждого столбца матрицы определялось максимальное значение. Для первого столбца оно составляет 16, для второго — 25.

Таблица 2

Мнения экспертов по значениям величин уступок

Альтернативы (X_i) Мнения экспертов	Состояния	
	δ_1	δ_2
X_1	10	25
X_2	15	10
X_3	15	12
X_4	6	20
X_5	15	13
X_6	10	24
X_7	16	20

Для каждой клетки (X) находилась разность между максимальным значением данного столбца матрицы и исходом в рассматриваемой ячейке

$$r_{ij} = y_i - x_{ij}$$

Из полученных значений составлена новая матрица R — «матрица сожалений» (табл. 3). По каждой строке полученной матрицы R определялась наибольшая величина. Данная величина является оценкой данной альтернативы по критерию Сэвиджа S_i :

$$S_i = \max(r_{ij})$$

Оптимальной признается альтернатива с минимальным значением данной оценки альтернативы

$$S_k = \min(S_i)$$

Таким образом, значения уступок δ_1 и δ_2 составляют 16 условных единиц и $20 \cdot 10^4$ Па соответственно.

Таблица 3

«Матрица сожалений»

Альтернативы (X_i) Мнения экспертов	Состояния		«Максимальное сожаление» S_i
	δ_1	δ_2	
X_1	6	0	6
X_2	1	15	15
X_3	1	13	13
X_4	10	5	10
X_5	1	12	12
X_6	6	1	6
X_7	0	5	5
y_i	16	25	

Сущность критерия Сэвиджа заключается в минимизации риска (сведения к минимуму последствий возможных ошибок при назначении экспертами величины уступки). Данный критерий оптимальности позволяет выбрать величину уступки с минимальным риском при ошибочном мнении экспертов.

После назначения величин уступок приступают к решению задачи многокритериальной оптимизации методом последовательных уступок [20]. Особенностью метода является одинаковый порядок значений исследуемых характеристик. Для твердости и относительного удлинения это десятки у.е. и%, поэтому размерность третьей характеристики (предела прочности при растяжении) рассматриваемых материалов преобразована из МПа в 10^4 Па (например, вместо 0,45 МПа имеем $45 \cdot 10^4$ Па)

Нахождение максимального значения твердости выполнено с помощью встроенного оптимизатора в ПО Minitab (рис. 1).

Максимальное значение твердости по Шору составляет 88,93 условных единиц при следующем процент-

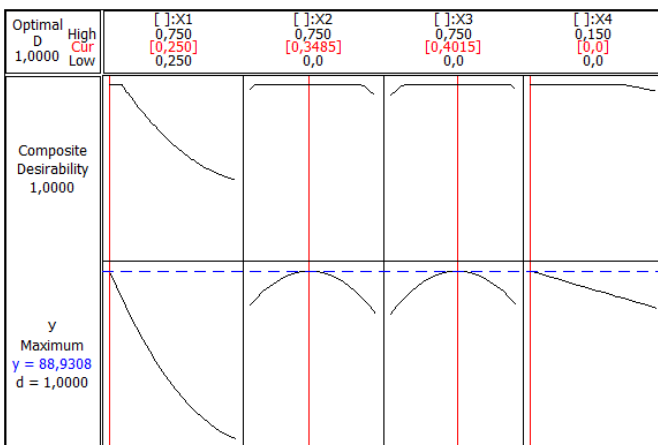


Рис. 1. Сочетание компонентов при максимальном значении твердости

ном соотношении компонентов: x_1 —25%, x_2 —34,85%, x_3 —40,15%, x_4 —0%.

После нахождения максимального значения первого по значимости критерия в области допустимых решений находится максимальное значение следующего по важности критерия (предела прочности). Однако при этом необходимо соблюдение следующего условия — значение первого критерия (твердости по Шору) не должно отклониться от своего максимального значения более чем на величину допустимой уступки (в данном случае $\delta_1 = 16$). Также при расчетах должны учитываться дополнительные ограничения-соотношения между компонентами материала (например, $x_3 + x_4 \leq 0,75$).

Таким образом, решается задача:

$$\begin{aligned} Z_2(\bar{X}) &\rightarrow \max \\ Z_1(\bar{X}) &\geq Z_1^* - \sigma_1 \\ \bar{X} &\in Q \end{aligned}$$

При ее решении максимальное значение предела прочности (с учетом уступки) составляет $79,18 \cdot 10^4$ Па при следующем процентном соотношении компонентов: x_1 —20%, x_2 —15%, x_3 —60%, x_4 —5%.

Следующим этапом используется величина уступки δ_2 по второму критерию, которая вместе с первой уступкой применяется при нахождении условного максимума третьего частного критерия

$$\begin{aligned} Z_3(\bar{X}) &\rightarrow \max \\ Z_1(\bar{X}) &\geq Z_1^* - \sigma_1 \\ Z_2(\bar{X}) &\geq Z_2^* - \sigma_2 \\ \bar{X} &\in Q \end{aligned}$$

Максимальное значение относительного удлинения при растяжении составляет 54,42% при следующем процентном соотношении компонентов: x_1 —25%, x_2 —38%, x_3 —37%, x_4 —0.

Значение процентного соотношения компонентов, полученное на последнем этапе, считается оптимальным.

Таким образом, для получения нового РП ДНПКМ со значением твердости 88,88 условных единиц, предела прочности $91,9 \cdot 10^4$ Па, относительного удлинения при растяжении 54,42% необходим следующий состав компонентов:

- силиконовый каучук типа СКТН А (матрица) — 25%
- оксид железа (порошковый наполнитель) — 38%
- гидроксид алюминия (порошковый наполнитель) — 37%
- присадка ПМС-50-0.

Отклонение полученного оптимального значения от максимально допустимого значения приведено в табл. 4.

Таблица 4

Максимальное и оптимальное значения критериев

Название критерия	Максимальное значение	Оптимальное значение	Отклонение оптимума от максимума (%)
Твердость (по Шору), усл. Ед.	88,93	88,88	0,06
Предел прочности, Па	99,18·10 ⁴	91,9·10 ⁴	7,34

В результате проведенных расчетов отклонение оптимального значения от максимального для твердости (по Шору) составляет менее 1%, предела прочности — 7,34%.

Заключение

Для решения задачи многокритериальной оптимизации состава РП ДНПКМ обосновано применение метода последовательных уступок, позволяющего максимизировать ранжированные свойства (твердость (по Шору), предел прочности при растяжении, относительное удлинение при растяжении) дисперсно-наполненного композиционного материала на основе силикона СКТН А с радиопоглощающими свойствами с учетом допустимой величины уменьшения (величина уступки) оптимизируемого показателя качества. Для определения величины уступки при оптимизации состава вещества применяется критерий Сэвиджа, позволяющий свести последствия возможных ошибок к минимуму. Последнее обусловлено введением в действие в 2015 году ГОСТ Р ИСО 9001–2015 (ISO 9001–2015), что требует в современных проектах обязательное внедрение риск-ориентированного мышления на каждом этапе жизненного цикла продукции, в том числе на этапе выбора оптимального состава РП ДНПКМ. Таким образом предлагаемая оптимизация с оценкой риска при назначении уступки удовлетворяет требованиям по внедрению риск-ориентированного мышления на начальных этапах жизненного цикла РП ДНПКМ и позволит снизить субъективный фактор при принятии решения о выборе состава синтезируемого материала.

Литература

1. *Судаков А.И., Геращенко В.В.* Перспективы применения композиционных материалов в ракетостроении // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2016. Т. 1. С. 173–174.
2. *Власенко А.В., Скрябин В.В.* Применение перспективных композиционных материалов для проектов ракетно-космической техники // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2016. Т. 1. С. 71–73.
3. *Рогов А.В., Шкарупа М.И., Велис А.К.* Классификация композиционных материалов и их роль в современном машино-

строении // Вестник РУДН, серия Инженерные исследования. 2012. № 2. С. 41–49.

4. *Орешина О.А., Ефремов Н.Ю.* Оценка показателей качества многокомпонентных полимерных композиционных материалов с содержанием гидроксида алюминия и различных модификаций диоксида кремния // Наука и бизнес: пути развития. 2019. № 9. С. 50–55.

5. *Tomashevich S., Andrievsky B.* Stability and Performance of Networked Control of Quadcopters Formation Flight // 6th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT). 2014. Pp. 338–342.

6. *Орешина О.А., Ефремов Н.Ю.* Анализ применимости методов математического моделирования и оптимизации для исследования свойств дисперсно-наполненных полимерных композиционных материалов // Перспективы науки. 2020. № 1. С. 14–17.

7. *Баранов М.И.* Антология выдающихся достижений в науке и технике: Часть 41: Композиционные материалы: их классификация, технологии изготовления, свойства и области применения в современной технике // Электротехника и электромеханика. 2017. № 6. С. 3–13.

8. *Шишкина Н.А.* Роль и значение метода экспертных оценок в системе оценивания качества инновационных проектов // Вестник КрасГАУ. 2013. № 2. С. 162–165.

9. *Подвесовский А.Г., Михалева О.А., Козлов Е.А., Вершинин А.А.* Математические модели и информационные технологии поддержки принятия решений в распределенных экспертных сетях. // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2016. Т. 12. № 2. С. 134–146.

10. *Drosopoulos G.A., Wriggers P., Stavroulakis G.E.* A multi-scale computational method including contact for the analysis of damage in composite materials // Computational Materials Science. 2014. Pp. 522–535.

11. *Heimbs S., Bergmann T., Schueler D., Toso-Pentecote N.* High velocity impact on preloaded composite plates // Composite Structures. 2014. Pp. 158–168.

12. *Segala D.B., Cavallaro P.V.* Numerical investigation of energy absorption mechanisms in unidirectional composites subjected to dynamic loading events. Computational Materials Science. 2014. Pp. 303–312.

13. *May M.* Numerical evaluation of cohesive zone models for modeling impact induced delamination in composite materials // Composite Structures. 2015. Pp. 16–21.

14. *Kalkan Erdoğan M., Karakışla M., Saçak M.* Polypyrrole and silver particles coated poly (ethylene terephthalate) nonwoven

composite for electromagnetic interference shielding // Journal of composite materials. 2018. Pp. 1353–1362.

15. Schwab M., Pettermann H.E. Modelling and simulation of damage and failure in large composite components subjected to impact loads // Composite Structures. 2016. Pp.208–216.

16. Данилкович А. Г., Омельченко Н. В., Шахновский А. М. Оптимизация композиции для гидрофобизации эластичных материалов // Вестник Хмельницкого национального университета. 2012. № 1. С. 74–78.

17. Подвесовский А. Г., Михалева О. А. Обобщенный алгоритм определения согласованных групповых кардинальных оценок с учетом компетентности экспертов // Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений:

труды II международной конференции. Уфа: УГАТУ, 2014. Т. 1. С. 58–64.

18. Виноградова Г. С., Марков А. В. Оценка и выбор компновочного решения при разработке оборудования для объектов использования атомной энергии с учетом компетентности привлекаемых экспертов // Качество и жизнь. 2016. № 2. С. 5–10.

19. Крянев А. В., Семенов С. С. К вопросу о качестве и надежности экспертных оценок при определении технического уровня сложных систем. // Надежность. 2013. № 4. С. 90–109.

20. Колоколов А. А., Ярош А. В. Автоматизация проектирования сложных изделий с использованием дискретной оптимизации и информационных технологий. // Омский научный вестник. 2010. № 2. С. 234–238.

RISK ASSESSMENT WHEN OPTIMIZING THE COMPOSITION OF RADIO-ABSORBING DISPERSED-FILLED POLYMER COMPOSITE MATERIALS

ANDREY V. MARKOV

St. Petersburg, Russia, markov-av@mail.ru

NIKOLAY YU. EFREMOV

St. Petersburg, Russia, nicoefr@mail.ru

OLGA A. ORESHINA

St. Petersburg, Russia, olga_oresh@mail.ru

KEYWORDS: polymer composite materials; multi-criteria optimization; Savage's criterion; admissible concession; radio absorption.

ABSTRACT

The problem of improving the quality of protection against electromagnetic radiation of electronic control units of aircraft is inextricably linked with the level of used materials, which is determined by their functional properties. Such materials can be radio-absorbing dispersed filled polymer composite materials (RADFPCM), to reduce the cost of creating which is relevant to develop a system for predicting the quality of RADFPCM. The subject of the research is RADFPCM. The purpose of the present research is to develop an algorithm for selecting the optimal composition of RADFPCM. The methodology for conducting the study includes theories of multi-criteria optimization and decision-making. To confirm the basic provisions of the developed algorithm for selecting the optimal composition of RADFPCM, studies were carried out on the example of a polymer composite ma-

terial based on the rubber of the type SKTN grade A, powder fillers of two types and a PMS-50 (silicone fluid) additive. It is as a result established that for receiving the new filled polymer composite material which is radio-absorbing disperse filled with the value of Shore hardness of 88.88 conventional units, the tensile strength of $91,9 \cdot 10^4$ Pa, tensile elongation of 54.42% the following structure of components is necessary: silicone SKTN grade A rubber (matrix) – 25%, iron oxide (powder filler) – 38%, aluminum hydroxide (powder filler) – 37%, additive PMS-50-0. The proposed algorithm of selection of the optimal composition of RADFPCM can be applied in the creation of new functional materials for the aerospace industry. The developed algorithm contains a risk assessment unit according to Savage's criterion, which reduces the risk of approval of the non-optimal composition of



the polymer composite material. Thus, even at the stage of computer modeling, a decision can be made on the composition of a new functional material, which reduces the cost of its creation and allows to ensure the required quality, reliability, and safety of the products for which the created materials are intended.

REFERENCES

1. Sudakov A.I., Gerashchenko V.V. Perspektivy primeneniya kompozitsionnykh materialov v raketostroenii. *Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavtiki*. 2016. Vol. 1. Pp. 173-174. (In Rus)
2. Vlasenko A.V., Skryabin V.V. Primenenie perspektivnykh kompozitsionnykh materialov dlya proektov raketno-kosmicheskoy tekhniki. *Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavtiki*. 2016. Vol. 1. Pp. 71-73. (In Rus)
3. Rogov A.V., Shkarupa M.I., Velis A.K. Klassifikatsiya kompozitsionnykh materialov i ih rol' v sovremennom mashinostroenii. *Vestnik RUDN, seriya Inzhenernye issledovaniya*. 2012. Vol. 2. Pp. 41-49. (In Rus)
4. Oreshina O.A., Efremov N. Yu. Ocenka pokazatelej kachestva mnogokomponentnykh polimernykh kompozitsionnykh materialov s sodержaniem gidroksida alyuminiya i razlichnykh modifikatsij dioksida kremniya. *Nauka i biznes: puti razvitiya*. 2019. No. 9.. Pp. 50-55. (In Rus)
5. Tomashevich S., Andrievsky B., Stability and Performance of Networked Control of Quadcopters Formation Flight. *6th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT)*. 2014. Pp. 338-342.
6. Oreshina O.A., Efremov N. Yu. Analiz primenimosti metodov matematicheskogo modelirovaniya i optimizatsii dlya issledovaniya svoystv dispersno-napolnennykh polimernykh kompozitsionnykh materialov. *Perspektivy nauki*. 2020. No. 1. Pp. 14-17. (In Rus)
7. Baranov M.I. Antologiya vydayushchihsy dostizhenij v nauke i tekhnike: CHast' 41: Kompozitsionnye materialy: ih klassifikatsiya, tekhnologii izgotovleniya, svoystva i oblasti primeneniya v sovremennoj tekhnike. *Elektrotekhnika i elektromekhanika*. 2017. No. 6. Pp. 3-13. (In Rus)
8. Shishkina N.A. Rol' i znachenie metoda ekspertnykh ocenok v sisteme ocenivaniya kachestva innovatsionnykh proektov. *Vestnik KrasGAU*. No.2. 2013. Pp. 162-165. (In Rus)
9. Podvesovskij A.G., Mihaleva O.A., Kozlov E.A., Vershinin A.A. Matematicheskie modeli i informatsionnye tekhnologii podderzhki prinyatiya reshenij v raspredelennykh ekspertnykh setyah. *Sovremennye informatsionnye tekhnologii i IT-obrazovanie*. 2016. Vol. 12. No. 2. Pp. 134-146.
10. Drosopoulos G.A., Wriggers P., Stavroulakis G.E. Stavroulakis A multi-scale computational method including contact for the analysis of damage in composite materials. *Computational Materials Science*. 2014. Pp. 522-535.
11. Heimbs S., Bergmann T., Schueler D., Toso-Pentecote N. High velocity impact on preloaded composite plates. *Composite Structures*. 2014. Pp. 158-168.
12. Segala D.B., Cavallaro P.V. Numerical investigation of energy absorption mechanisms in unidirectional composites subjected to dynamic loading events. *Computational Materials Science*. 2014. Pp. 303-312.
13. May M. Numerical evaluation of cohesive zone models for modeling impact induced delamination in composite materials. *Composite Structures*. 2015. Pp. 16-21.
14. Kalkan Erdoğan M., Karakışla M., Saçak M. Polypyrrole and silver particles coated poly (ethylene terephthalate) nonwoven composite for electromagnetic interference shielding. *Journal of composite materials*. 2018. Pp. 1353-1362.
15. Schwab M., Pettermann H.E. Modelling and simulation of damage and failure in large composite components subjected to impact loads. *Composite Structures*. 2016. Pp. 208-216.
16. Danilkovich A.G., Omelchenko N.V., Shakhnovsky A.M. Composition optimization for hydrophobization of elastic materials. *Bulletin of the Khmel'nitsky National University*. 2012. No. 1. Pp. 74-78.
17. Podvesovskij A.G., Mihaleva O.A. Obobshchennyj algoritm opredeleniya soglasovannykh gruppovykh kardinal'nykh ocenok s uchetom kompetentnosti ekspertov. *Informatsionnye tekhnologii intellektual'noj podderzhki prinyatiya reshenij: trudy II mezhdunarodnoj konferencii*. Ufa: UGATU, 2014. Vol. 1. Pp. 58-64. (In Rus)
18. Vinogradova, G.S., Markov A.V. Evaluation and selection of the layout solution when developing equipment for nuclear facilities using the competence of the experts involved. *Quality and life*. 2016. No. 2. Pp. 5-10. (In Rus)
19. Kryanev A.V., Semenov S.S. To the question of the quality and reliability of expert assessments in determining the technical level of complex systems. *Reliability*. 2013. No. 4. Pp. 90-109. (In Rus)
20. Kolokolov A.A., Yarosh A.V. Avtomatizatsiya proektirovaniya slozhnykh izdelij s ispol'zovaniem diskretnoy optimizatsii i informatsionnykh tekhnologij. *Omskij nauchnyj vestnik*. 2010. No.2. Pp. 234-238. (In Rus)

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Markov A.V., PhD, Full Professor, Head of the Department of Engineering and quality management of the Baltic state technical university "VOENMEH";
 Efremov N.Y., PhD, Associate Professor at the Department of Engineering and quality management of the Baltic state technical university "VOENMEH";
 Oreshina O.A., Lecturer at the Department of Higher mathematics of the Baltic state technical university "VOENMEH".



doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-5-22-35

К ВОПРОСУ ПОСТРОЕНИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ, ФУНКЦИОНИРУЮЩЕЙ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ РАЗРЕШАЮЩЕГО ВРЕМЕНИ И ИСПОЛЬЗУЮЩЕЙ ЧМ_n-n-СИГНАЛ С НЕПРЕРЫВНОЙ ФАЗОЙ

ЛЕРНЕР**Илья Михайлович¹****ЧЕРНЯВСКИЙ****Сергей Меерович²****КАДУШКИН****Владислав Валерьевич³**

АННОТАЦИЯ

В настоящее время частотно-манипулированные сигналы с n дискретными состояниями нашли широкое применение в радиотехнических системах цифровой связи различного назначения. Основным фактором, сдерживающим их дальнейшее развитие, является с одной стороны ограниченность достижимой пропускной способности с заданным качеством обслуживания и, как следствие, скорости передачи, что обусловлено сложной сигнально-помеховой обстановкой, межсимвольными искажениями и внутрисистемными помехами, а с другой – достижимым уровнем технической реализуемости. В качестве основного метода повышения скорости передачи в таких системах связи является переход к работе в условиях межсимвольных искажений. Существующие известные подходы к решению данной задачи, такие как оптимальные и субоптимальные методы обработки, преобразующие канал с памятью в канал без памяти, представляют слабый интерес с точки зрения практической реализуемости самого приемника в принципе. Альтернативным подходом, решающим данную задачу, является построение систем связи на основе положений, развиваемых в рамках теории разрешающего времени. Расширяя применимость указанных положений на системы служебной связи, авторами настоящей статьи была поставлена цель по разработке численного метода оценки пропускной способности канала связи с памятью, вызванной частотно-селективными свойствами реального канала, с использованием частотно-манипулированных сигналов с n дискретными состояниями и непрерывной фазой. Для достижения указанной цели в рамках представленных исследований была разработана математическая модель канала связи с памятью для частотно-манипулированных сигналов с n дискретными состояниями и непрерывной фазой, учитывающая ошибки измерений, которые вносит приёмник, при определении физической огибающей и мгновенной частоты. Это, в частности, позволяет анализировать влияние нестабильности синтезатора частот реальной радиотехнической системы передачи информации на качество приема. При этом математическая модель позволяет производить оптимизацию сигнального созвездия с учетом передаточной характеристики частотно-селективного канала связи.

Сведения об авторах:

¹к.ф.-м.н., доцент Казанского национального исследовательского технического университета имени А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, Россия, aviap@mail.ru

²д.ф.-м.н., доцент, г. Казань, Россия, chernyavskii.39@mail.ru

³к.т.н., доцент Казанского национального исследовательского технического университета имени А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, Россия, vladislav.kadushkin@gmail.com

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ЧМ_n-n-сигналы; межсимвольные искажения; теория разрешающего времени; метод оценки пропускной способности; канал с памятью.

Для цитирования: Лернер И.М., Чернявский С.М., Кадушкин В.В. К вопросу построения радиотехнической системы передачи информации, функционирующей на основе теории разрешающего времени и использующую ЧМ_n-n-сигнал с непрерывной фазой // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 5. С. 22-35. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-5-22-35

Введение

Повышение спектральной эффективности, а вместе с этим, и удельной пропускной способности радиотехнических систем передачи информации (РСПИ) является одной из ключевых задач последних десятилетий. Высокая потребность в решении указанной задачи обусловлена следующими причинами: 1) (для коммерческого сектора связи) необходимостью все большего числа людей использовать информационные сервисы, которые предоставляются в рамках услуг мобильного интернета, что требует существенного увеличения выделяемого частотного ресурса оператору связи. Так из отчета, опубликованного ассоциацией GSMA [1], следует, что только за 2019 год число новых пользователей, использующих мобильный интернет, составило 260 млн. человек, при этом общее количество подключенных приблизилось к отметке 49% от всего населения Земли; 2) (для служебной связи) необходимость передачи большого объема служебной информации посредством использования транковой связи [2].

В настоящее время основным подходом к решению указанной задачи является переход к работе РСПИ при наличии сильных межсимвольных искажений, в том числе вызванных частотно-селективными свойствами самого канала [3–5].

При этом решение поставленной задачи для первого типа систем связи, которые наиболее часто используют многопозиционные фазоманипулированные и амплитудно-фазоманипулированные сигналы с n дискретными состояниями, осуществляется посредством применения субоптимальных методов приема, суть которых заключается в преобразовании канала с памятью в канал без памяти с последующей корреляционной обработкой [4]. Однако используемые подходы обладают существенными недостатками, которые подробно рассмотрены в работах [3, 4]. Использование оптимальных методов приёма для данного класса систем на основе критерия максимального правдоподобия в большинстве случаев ставит под сомнение практическую реализацию самого приемника в принципе, поскольку вычислительная сложность алгоритмов их реализующих экспоненциально зависит от числа интерферирующих символов и объема алфавита канальных символов [4].

В этом случае подход, который позволяет преодолеть указанные выше сложности, заключается в применении теории разрешающего времени. Достоинства такой реализации были детально рассмотрены в работах [6–9] применительно к системам с использованием многопозиционных фазоманипулированных и амплитудно-фазоманипулированные сигналы с n дискретными состояниями.

Если же рассматривать РСПИ для служебной связи, например, внутренней связи на железнодорожном транс-

порте, то проблема повышения удельной пропускной способности стоит еще более остро [2]. Это обусловлено тем, что в данных системах широко используются многопозиционные частотно-манипулированные сигналы с n дискретными состояниями (ЧМ n - n -сигналы) [10, 11], которые сами по себе при значениях индекса модуляции больше единицы требуют использования более широкой полосы частот, занимаемой сигналом, для достижения большей помехоустойчивости [4, 12]. Это приносит дополнительные трудности, поскольку используемый частотный ресурс существенно ограничен [2].

Анализируя публикации, направленных на решение задачи по повышению спектральной эффективности некоррелированных ЧМ n - n -сигналов [4, 12, 13], а также результаты проведенного исследования в области выбора вида формы частотного импульса для частотно манипулированных сигналов с непрерывной фазой по критерию минимизации внеполосного излучения [14], можно заключить, что полученные результаты, к сожалению, не учитывают влияния частотно избирательных свойств канала связи, а указанные работы констатируют допущение о том, что при соответствующем выборе формы частотного импульса межсимвольные искажения, обусловленные каналом, будут незначительными [14]. Полученные результаты в работах [5, 15], не подтверждают эту гипотезу, тем самым ставя вопрос о необходимости создания метода, позволяющего наилучшим образом выбирать сигнальное созвездие с учётом частотно-избирательных свойств самого радиоканала. Решение данного вопроса нашло отражение в настоящей статье.

Ввиду того, что основным критерием при выборе сигнального созвездия является оценка пропускной способности, которая достижима при его применении в условиях частотно избирательных свойств канала связи, то в качестве подхода для её определения является применение теории разрешающего времени. Таким образом, в данной работе делается акцент на разработку численного метода оценки пропускной способности канала связи с памятью, которая обусловлена частотно селективными свойствами реального канала, в основу которого заложены положения теории разрешающего времени, где применяется ЧМ n - n -сигналы с непрерывной фазой.

Постановка задачи. Модель канала связи.

Основные соотношения

Построение модели канала связи для ЧМ n - n -сигналов с непрерывной фазой (далее по тексту — ЧМ n - n -НФ сигнал) произведем на основе идей теории разрешающего времени, представленных в работах [6, 7]. Так же, как и для фазовых РСПИ, модель канала связи представим в виде последовательного соединения передатчика, линейной избирательной системы (ЛИС), приемника и решаю-

шего устройства. При этом будем полагать, что каждый элемент модели определяет только одно из свойств реального канала связи. Так, передатчик формирует ЧМн- n -НФ сигнал в соответствии с поступающей на его вход информационной последовательностью, ЛИС обуславливает частотно-избирательные свойства реального канала связи, в том числе и те, которые обусловлены избирательными системами радиотракта, приемник производит измерение информативных параметров сигнала, а решающее устройство — восстановление символов передаваемой информационной последовательности.

Поскольку в реальных РСПИ, работающих в условиях воздействия межсимвольных искажений (МСИ), наибольшее влияние на восстановление информационной последовательности оказывают межсимвольные искажения и ошибки измерений, а не флуктуационные шумы, то полагаем, что последние из перечисленных отсутствуют.

В качестве ЛИС в данной работе рассматриваем полосовые фильтры, удовлетворяющие следующим критериям: 1) $\omega_0/2\Delta\Omega_0 \geq 15$, где $2\Delta\Omega_0$ — результирующая полоса пропускания и ω_0 — среднеарифметическая частота фильтра; 2) результирующие амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики фильтра обладают четной и нечетной симметрией относительно ω_0 , соответственно.

При решении поставленной задачи будем полагать, что каждый символ первичного сигнала, поступающий на вход передатчика, принимает равновероятно одно из n значений частот сигнального созвездия, множество которых можно записать следующим образом:

$$W = \left\{ \omega'_k = \omega_0 + \Delta\omega_k \mid k = \overline{1, n} \right\} = \left\{ \omega_0 + (k - \|0,5n\| + 0,5(n \bmod 2 - 1))\Delta\omega_{st} + \Delta_{sh} \mid k = \overline{1, n} \right\}.$$

Здесь $\| \cdot \|$ — операция округления к ближайшему целому; $\Delta\omega_{st}$ — шаг между соседними значениями несущих частот сигнального созвездия; \bmod — операция взятия остатка от деления; $\Delta\omega_k$ — расстройка по частоте относительно ω_0 , соответствующая k -ой несущей частоте ω'_k сигнального созвездия; Δ_{sh} — постоянный частотный сдвиг сигнального созвездия,

Формируемый передатчиком ЧМн- n -НФ сигнал с непрерывной фазой с момента времени $t = 0$ можно представить следующим образом

$$\begin{aligned} \dot{s}_{in}(t) = & \exp(j\omega_0 t) \left\{ [1 - l(t)] \exp(j[\Delta\omega_0 t + \gamma_0]) + \right. \\ & + \sum_{r=1}^{l-1} [1(t - (r-1)\tau_s) - 1(t - r\tau_s)] \times \\ & \times \exp(j[\Delta\omega_r [t - (r-1)\tau_s] + \gamma_r]) + \\ & \left. + 1(t - (l-1)\tau_s) \exp(j[\Delta\omega_l [t - (l-1)\tau_s] + \gamma_l]) \right\}, \end{aligned}$$

где $l \in \mathbb{N}^*$ — число символов в передаваемой информационной последовательности, модулирующей ЧМн- n -НФ сигнала; τ_s — длительность символа; $\omega_r = \omega_0 + \Delta\omega_r$ — несущая частота r -го радиоимпульса ЧМн- n -НФ сигнала, здесь $\Delta\omega_r$ — расстройка по частоте относительно среднеарифметической частоты ЛИС ω_0 , вызванная передачей r -го символа информационной последовательности; $l(t)$ — функция Хэвисайда; значение фазового сдвига необходимо для обеспечения непрерывной фазы

$$\gamma_r = \tau_s \sum_{q=1}^{r-1} \Delta\omega_q + \varphi_{init},$$

где φ_{init} — начальный фазовый сдвиг гармонического колебания, которое действует до начала момента передачи ЧМн- n -НФ сигнала.

На выходе ЛИС с момента начала передачи информационной последовательности, то есть с момента времени $t = 0$, ЧМн- n -НФ сигнала можно представить следующим образом, с учётом результатов работы [15]

$$\begin{aligned} \dot{s}_{out}(t) = & \dot{Z}(t) \exp(j\omega_0 t) = \exp(j\omega_0 t) \times \\ & \times \sum_{r=0}^l k_r \tilde{B}_{rl}(t) \exp(j(\Delta\omega_r [t - 1(r-1)\tau_s (r-1)] + \psi_r)) = \\ = & \exp(j\omega_0 t) \left(\sum_{r=0}^l k_r [\operatorname{Re} \tilde{B}_{rl}(t) \cos \vartheta_r - \operatorname{Im} \tilde{B}_{rl}(t) \sin \vartheta_r] + \right. \\ & \left. + j \sum_{r=0}^l k_r [\operatorname{Re} \tilde{B}_{rl}(t) \sin \vartheta_r + \operatorname{Im} \tilde{B}_{rl}(t) \cos \vartheta_r] \right), \end{aligned} \quad (1)$$

где $\dot{Z}(t)$ — комплексная огибающая ЧМн- n -НФ сигнала на выходе ЛИС; $\vartheta_r = \Delta\omega_r [t - 1(r-1) \times (r-1) \times \tau_s] + \psi_r$; $\psi_r = \gamma_r + \xi_r$; $\dot{k}_r(j[\omega_0 + \Delta\omega_r]) = k_r \exp(j\xi_r)$ — результирующий комплексный коэффициент передачи ЛИС на частоте $\omega_r = \omega_0 + \Delta\omega_r$, а k_r и ξ_r — результирующий модуль коэффициента передачи и постоянный фазовый сдвиг, который вносит ЛИС, на данной частоте, соответственно; для краткости также введем сокращенные обозначения

$$\tilde{B}_{rl}(t) = \begin{cases} 1 - \dot{B}_0(t, j\Delta\omega_0) & \text{при } r = 0; \\ \dot{B}_0(t - (r-1)\tau_s, j\Delta\omega_r) - \\ - \dot{B}_0(t - r\tau_s, j\Delta\omega_r) & \text{при } r = \overline{1, l-1}; \\ \dot{B}_0(t - (l-1)\tau_s, j\Delta\omega_l) & \text{при } r = l. \end{cases}$$

где $\dot{B}_0(t, j\Delta\omega)$ — функция установления [15].

Приемник производит оценку мгновенной частоты и физической огибающей ЧМн- n -НФ сигнала на выходе ЛИС, внося при этом ошибки измерения. Это можно представить следующим образом:

$$H_{meas}(t) = H(t) + Y(t); \quad \omega_{meas}(t) = \omega(t) + X(t);$$

$$H(t) = |\dot{Z}(t)|; \omega(t) = \omega_0 + \frac{d\psi(t)}{dt} = \frac{dQ}{dt} I - Q \frac{dI}{dt}; \quad (2)$$

$$\psi(t) = \arg[\dot{Z}(t)] \Rightarrow \operatorname{tg} \psi(t) = \frac{\sum_{r=0}^l k_r [\operatorname{Re} \tilde{B}_{rl}(t) \sin \vartheta_r + \operatorname{Im} \tilde{B}_{rl}(t) \cos \vartheta_r]}{\sum_{r=0}^l k_r [\operatorname{Re} \tilde{B}_{rl}(t) \cos \vartheta_r - \operatorname{Im} \tilde{B}_{rl}(t) \sin \vartheta_r]} = \frac{Q}{I}.$$

где $H(t)$, $\omega(t)$ — подлежащие измерению приемником физическая огибающая и мгновенная частота, соответственно; $Y(t)$ и $X(t)$ — стационарные взаимно независимые случайные процессы, соответствующие ошибкам измерений огибающей и мгновенной частоты, соответственно; $\psi(t)$ — медленно меняющаяся фаза ЧМн- n -НФ сигнала на выходе ЛИС.

Каждое из сечений данных случайных процессов является случайной величиной с равномерным законом распределения, у которой плотность распределения определяется следующим образом

$$f_Y(y) = \begin{cases} \frac{1}{2\varepsilon_H}, & y \in [-\varepsilon_H; \varepsilon_H] \\ 0, & y \notin [-\varepsilon_H; \varepsilon_H] \end{cases};$$

$$f_X(x) = \begin{cases} \frac{1}{2\varepsilon_\omega}, & x \in [-\varepsilon_\omega; \varepsilon_\omega] \\ 0, & x \notin [-\varepsilon_\omega; \varepsilon_\omega] \end{cases};$$

где ε_H , ε_ω — абсолютные значения предельных ошибок измерений огибающей и мгновенной частоты, соответственно. Предельная ошибка измерения мгновенной частоты связана со своей предельной приведенной ошибкой измерения соотношением $\mu_\omega = \varepsilon_\omega / \Delta\omega_{st}$.

Приемник передает значения $\omega_{meas}(d\tau_s)$ на решающее устройство в моменты кратные τ_s , если выполняется следующее соотношение для физической огибающей, соблюдение которого обеспечивает подсистема порогового шумоподавления:

$$H_{meas}(d\tau_s) \geq M_{thr}, \quad (3)$$

где M_{thr} — пороговое значение; $d = \overline{1, l}$ — номер принимаемого символа

При выполнении условия (3) решающее устройство восстанавливает символ принимаемой информационной последовательности в соответствии со следующим решающим правилом

$$\omega_{rec}(d\tau_s) = \omega'_k|_{k=k'}, \quad (4)$$

$$\text{где } k' \in \overline{1, n}: f(k', d) = \min_{k \in \overline{1, n}} |\omega_{meas}(d\tau_s) - \omega'_k|.$$

Используя выражения (3) и (4), определим ограничения, накладываемые на длительность символа, которые необходимо учитывать для корректного восстановления значений символов информационной последовательности. Так выбор длительности символа $\tau_s \in T_{inst.f}$, при которой обеспечивается корректное восстановление $\forall d$ -го символа без учёта работы подсистемы порогового шумоподавления, на основании значения мгновенной частоты ЧМн- n -НФ сигнала должен обеспечивать выполнение следующих условий

$$\left. \begin{aligned} |\omega_{meas}(dT_{inst.f}) - \omega_d| &\leq Q_{lim} \\ Q_{lim} < 0,5\Delta\omega_{st}, Q_{lim} &\rightarrow 0,5\Delta\omega_{st} \end{aligned} \right\}, \quad (5)$$

где Q_{lim} — предельное значение, на которое может отличаться измеренная мгновенная частота от истинного передаваемого значения ω_d ; $T_{inst.f}$ — множество длительностей символов, при котором обеспечивается корректное восстановление каждого символа информационной последовательности без учета ограничений, вносимых подсистемой порогового шумоподавления; ω_d — несущая частота передаваемого d -го символа.

Учитывая то, что $\Omega_{est}(d\tau_s) = \omega(d\tau_s) - \omega_d$, для системы (5) будет справедливо следующее соотношение

$$\left| \Omega_{est}(dT_{inst.f}) + X(dT_{inst.f}) \right| \leq \left| \Omega_{est}(dT_{inst.f}) \right| + \left| X(dT_{inst.f}) \right|,$$

$$\left| \Omega_{est}(dT_{inst.f}) \right| + \left| X(dT_{inst.f}) \right| \leq \Omega_{max}(dT_{inst.f}) + \varepsilon_\omega \leq Q_{lim} < 0,5\Delta\omega_{st},$$

где $\Omega_{max}(dT_{inst.f}) = \max \left| \Omega_{est}(dT_{inst.f}) \right|$, здесь максимизация производится по всем возможным реализациям значений символов информационной последовательности, состоящей из d символов, для каждого значения длительности символа $\tau_s \in T_{inst.f}$.

Для заданного значения Q_{lim} и ε_ω можно поставить в соответствие значение допустимой ошибки установления по частоте Ω_{acc} , определяемой из системы

$$\left. \begin{aligned} \Omega_{acc} &= Q_{lim} - \varepsilon_\omega \\ \forall d = \overline{1, l}, l \rightarrow \infty: \Omega_{max}(dT_{inst.f}) &\leq \Omega_{acc} \end{aligned} \right\}.$$

Для каждого набора значений Ω_{acc} и Q_{lim} , поставим в соответствие множество длительностей символа $T_{f.res}$, которое будем называть разрешающим временем по частоте

$$T_{f.res} = \left\{ t_{f.b.w_i} \right\}_{i=1}^{S_f} \cup \left\{ t_{f.e.w_i} \right\}_{i=1}^{S_f} \cup \left\{ t_{f.bd} \right\}, \quad (6)$$

где S_f — общее число «окон прозрачности» по частоте; «окно прозрачности» по частоте — это диапазон длительностей символов $\left[t_{f.b.w_i}; t_{f.e.w_i} \right] \subset T_{inst.f}$, здесь $t_{f.b.w_i}$ и

$t_{f.e.w_i}$ — длительности символа, соответствующие началу и окончанию i -го «окна прозрачности» по частоте, соответственно; $t_{f.bd}$ — граничная длительность символа по частоте, которая определяет диапазон длительностей символов $[t_{f.bd}; +\infty) \subset T_{inst.f}$, а $T_{f.res} = \{t_{f.bd}\}$ при $S_f = 0$. Необходимо отметить, что меньшим значениям i соответствуют меньшие значения $t_{f.b.w_i}$ и $t_{f.e.w_i}$.

Здесь значение $t_{f.b.w_i}$ определяется в соответствии с

$$\exists d : \Omega_{\max} \left(d \dot{U}(t_{f.b.w_i} - 0, \varepsilon) \right) > \Omega_{acc}, \quad \Omega_{\max} (dt_{f.b.w_i}) = \Omega_{acc}, \quad (7)$$

а значение $t_{f.e.w_i}$ из соотношения

$$\exists d : \Omega_{\max} \left(d \dot{U}(t_{f.e.w_i} + 0, \varepsilon) \right) > \Omega_{acc}, \quad \Omega_{\max} (dt_{f.e.w_i}) = \Omega_{acc}. \quad (8)$$

здесь $\dot{U}(\cdot)$ — проколота ε -окрестность.

Граничная длительность символа по частоте $t_{f.bd}$ удовлетворяет системе, представленной ниже

$$\left. \begin{aligned} \exists d : \Omega_{\max} \left(d \dot{U}(t_{f.bd} - 0, \varepsilon) \right) > \Omega_{acc}, \quad \Omega_{\max} (dt_{f.bd}) = \Omega_{acc} \\ \forall d : (T \in (t_{f.bd}; +\infty) \Rightarrow \Omega_{\max} (dT) < \Omega_{acc}) \end{aligned} \right\}. \quad (9)$$

Рассмотрим ограничения, связанные с выбором длительности символа, которые вызваны работой подсистемой порогового шумоподавления, используя выражение (3). В этом случае очевидно, что выбор длительности символа соответствует $\tau_s \in T_A$, где при T_A выполняется следующее соотношение

$$\min H_{meas} (dT_A) \geq M_{thr} \Leftrightarrow \min H (dT_A) \geq M'_{thr}, \quad (10)$$

где $M'_{thr} = M_{thr} + \varepsilon_H$. В данном случае минимизация производится по всем возможным реализациям значений символов в последовательности с числом символов d для каждого значения $\tau_s \in T_A$.

При этом для M_{thr} и $l \rightarrow \infty$ можно определить длительности символов, которые будем называть разрешающим временем по огибающей, $T_{env.res}$

$$T_{env.res} = \left\{ \hat{\tau}_{b.w_i} \right\}_{i=1}^{S_{env}} \cup \left\{ \hat{\tau}_{e.w_i} \right\}_{i=1}^{S_{env}} \cup \{ \hat{\tau}_{bd} \}, \quad (11)$$

где S_{env} — общее число «окон прозрачности» по огибающей, вызванных работой подсистемы порогового шумоподавления; «окно прозрачности» по огибающей — это диапазон длительностей символов $[\hat{\tau}_{b.w_i}; \hat{\tau}_{e.w_i}] \subset T_A$, здесь $\hat{\tau}_{b.w_i}$ и $\hat{\tau}_{e.w_i}$ — длительности символов, соответствующие началу и окончанию i -го «окна прозрачности» по огибающей, вызванное работой подсистемой порогового шумоподавления,

соответственно; $\hat{\tau}_{bd}$ — граничная длительность символа по огибающей, которая определяет диапазон длительностей символов $[\hat{\tau}_{bd}; +\infty) \subset T_A$; $T_{bd.res} = \{ \hat{\tau}_{bd} \}$ при $S_{bd} = 0$.

Здесь значение $\hat{\tau}_{b.w_i}$ определяется в соответствии с выражением

$$\exists d : \min H \left(d \dot{U}(\hat{\tau}_{b.w_i} - 0, \varepsilon) \right) < M'_{thr}, \quad \min H (d\hat{\tau}_{b.w_i}) = M'_{thr}, \quad (12)$$

а значение $\hat{\tau}_{e.w_i}$ из соотношения

$$\exists d : \min H \left(d \dot{U}(\hat{\tau}_{e.w_i} + 0, \varepsilon) \right) < M'_{thr}, \quad \min H (d\hat{\tau}_{e.w_i}) = M'_{thr}, \quad (13)$$

при этом $\hat{\tau}_{bd}$ удовлетворяет следующим соотношениям

$$\left. \begin{aligned} \exists d : \min H \left(d \dot{U}(\hat{\tau}_{bd} - 0, \varepsilon) \right) < M'_{thr}, \quad \min H (d\hat{\tau}_{bd}) = M'_{thr} \\ \forall d : (T' \in (\hat{\tau}_{bd}; +\infty) \Rightarrow \min H (dT') > M'_{thr}) \end{aligned} \right\}. \quad (14)$$

С учётом (6)–(14) разрешающее время для рассматриваемого канала связи t_{res} , определяющее динамику его работы, в том числе и предельную скорость передачи, можно представить следующим образом

$$t_{res} = \left\{ \tau_{b.w_i} \right\}_{i=1}^{S_{FSK}} \cup \left\{ \tau_{e.w_i} \right\}_{i=1}^{S_{FSK}} \cup \{ \tau_{FSK.bd} \}, \quad (15)$$

где S_{FSK} — общее число «окон прозрачности» мгновенной частоты с учётом ограничений, обусловленных работой подсистемы порогового шумоподавления; $\tau_{b.w_i}$ и $\tau_{e.w_i}$ — длительности символа, соответствующие началу и окончанию i -го «окна прозрачности» мгновенной частоты с учётом ограничений, обусловленных работой подсистемы порогового шумоподавления; $\tau_{FSK.bd}$ — граничная длительность символа по частоте с учётом функционирования подсистемы порогового шумоподавления; $t_{res} = \tau_{FSK.bd}$ при $S_{FSK} = 0$.

При этом составляющие разрешающего времени в (15) определяются из решения следующей системы неравенств, которую представим в виде числовых отрезков

$$\bigcup_{i=1}^{S_{FSK}} [\tau_{b.w_i}; \tau_{e.w_i}] \cup [\tau_{FSK.bd}; +\infty) = T_A \cap T_{inst.f} \quad (16)$$

$$\text{где } T_{inst.f} = \bigcup_{i=1}^{S_f} [t_{f.b.w_i}; t_{f.e.w_i}] \cup [t_{f.bd}; +\infty);$$

$$T_A = \bigcup_{i_2=1}^{S_{env}} [\hat{\tau}_{b.w_{i_2}}; \hat{\tau}_{e.w_{i_2}}] \cup [\hat{\tau}_{bd}; +\infty).$$

Из анализа модели канала связи и определения разрешающего времени следует, что оценка пропускной способности осуществляется аналогично тому, как это произво-



дится для дискретного канала без помех. Это обусловлено тем, что память канала не используется при определении значения принимаемого символа, а учитывается косвенно при выборе значения длительности символа с учётом ограничений, необходимых для корректного восстановления символов всей информационной последовательности.

Таким образом, пропускная способность для рассматриваемой модели канала на основании [16] определяется следующим образом

$$C = \max \left\{ \overline{U}_y H(Y) \right\} = \max \left\{ \overline{U}_y \right\} \log_2 n, \quad (17)$$

где $\overline{U}_y = \tau_s^{-1}$ — скорость передачи символов, $H(Y)$ — энтропия символа на входе в канал связи.

Из анализа выражений (17) следует, что для определения пропускной способности требуется определить предельную длительность символа τ_s , при которой обеспечивается $\max \left\{ \overline{U}_y \right\}$ с учётом ограничения (3) и решающего правила (4). Длительность символа, которая обеспечивает $\max \left\{ \overline{U}_y \right\}$, определяется разрешающим временем и при наличии «окон прозрачности» составляет $\tau_{b.w_1}$, а при их отсутствии — $\tau_{FSK.bd}$. При этом с практической точки зрения целесообразно использовать дополнительные оценки пропускной способности, получаемые за счет использования всех составляющих разрешающего времени.

Так набор оценок пропускной способности может быть представлен в следующем виде

$$C_{n.w} = C|_{t_{res}=\tau_{FSK.bd}}; C'_k = C|_{t_{res}=\tau_{b.w_k}}; C''_k = C|_{t_{res}=\tau_{e.w_k}}; \quad (18)$$

Здесь $C_{n.w}$ — оценка пропускной способности без использования «окон прозрачности»; C'_k и C''_k — оценки верхней и нижней границ пропускной способности для k — ого «окна прозрачности», соответственно. При этом очевидно, что потенциальная пропускная способность РСПИ, построенная на базе теории разрешающего времени для ЧМн- n -НФ сигнала, при заданной конфигурации сигнального созвездия и функционировании в режиме использования «окон прозрачности» определяется как $C_{pot} = C'_1$, а без них — $C_{pot} = C_{n.w}$.

Численный метод оценки разрешающего времени и пропускной способности

Анализируя разработанную модель, а также принимая во внимание результаты работы [17], можем сделать вывод, что для оценки разрешающего времени, необходимой для определения пропускной способности канала связи требуется разработать следующие компоненты (решить следующие подзадачи), являющиеся сутью разрабатываемого численного метода:

1) выражения, описывающие поведение мгновенной частоты и физической огибающей ЧМн- n -НФ сигнала на выходе ЛИС;

2) соотношения, позволяющие оценить эффективную память;

3) уравнения, позволяющие оценить начальные условия, необходимые для реализации численного алгоритма. К ним можно отнести оценку аппроксимации ряда, начальную оценку разрешающего времени и эффективной памяти;

4) выражения, позволяющие оценить минимальное число реализаций, требуемое для оценки вероятности ошибки на символ от длительности символа при заданной точности.

5) соотношения, позволяющие определить, разрешающее время с заданной точностью по наибольшему времени установления для d -го символа информационной последовательности.

Перейдем к решению первой из перечисленных подзадач. Так выражение, описывающее физическую огибающую рассматриваемого сигнала на выходе ЛИС, используя

$\left(\sum_{i=1}^{S_0} a_k \right)^2 = \sum_{i=1}^{S_0} a_i^2 + 2 \sum_{i=1}^{S_0-1} a_i \sum_{i_i=i+1}^{S_0} a_{i_i}$ и (1), (2), можно представить в виде

$$\begin{aligned} |\dot{Z}(t)| = & \left[\sum_{r=0}^l k_r^2 |\tilde{B}_{rl}(t)|^2 + 2 \sum_{r=0}^{l-1} k_r \sum_{r_1=r+1}^l k_{r_1} P_1(r, r_1, l, t) \cos \Delta \vartheta_{rr_1} + \right. \\ & + 2 \left(\sum_{r=1}^l k_r \operatorname{Re} \tilde{B}_{rl} \sum_{r_1=0}^{r-1} k_{r_1} \operatorname{Im} \tilde{B}_{r_1l}(t) \sin \Delta \vartheta_{rr_1} + \right. \\ & \left. \left. + \sum_{r=0}^{l-1} k_r \operatorname{Re} \tilde{B}_{rl} \sum_{r_1=r+1}^l k_{r_1} \operatorname{Im} \tilde{B}_{r_1l}(t) \sin \Delta \vartheta_{rr_1} \right) \right]^{1/2}, \end{aligned}$$

где $P_1(r, r_1, l, t) = \operatorname{Re} \tilde{B}_{rl}(t) \operatorname{Re} \tilde{B}_{r_1l}(t) + \operatorname{Im} \tilde{B}_{rl}(t) \operatorname{Im} \tilde{B}_{r_1l}(t)$;

$$|\tilde{B}_{rl}(t)|^2 = (\operatorname{Re} \tilde{B}_{rl}(t))^2 + (\operatorname{Im} \tilde{B}_{rl}(t))^2; \Delta \xi_{rr_1} = \xi_r - \xi_{r_1}$$

$$\begin{aligned} \Delta \vartheta_{rr_1} = & \vartheta_r - \vartheta_{r_1} = \Delta \omega_r [t-1(r-1)(r-1)\tau_s] - \\ & - \Delta \omega_{r_1} [t-1(r_1-1)(r_1-1)\tau_s] + \Delta \xi_{rr_1} + \Sigma_\omega; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma_\omega = & \operatorname{sgn} [1(r_1-2) + 1(r-2)] \tau_s \left([1(r-r_1-1)] \times \right. \\ & \left. \times \sum_{q=r_1}^{r-1} \Delta \omega_q 1(q-2) - [1(r_1-r-1)] \sum_{q_1=r}^{r_1-1} \Delta \omega_{q_1} 1(q_1-2) \right); \end{aligned}$$

здесь $\operatorname{sgn}(\cdot)$ — знаковая функция.

Для определения мгновенной частоты оценим динамическую составляющую мгновенной частоты, которая определяется слагаемым $d\psi(t)/dt$ (см. (2))

$$\begin{aligned} \frac{d\psi(t)}{dt} = \frac{1}{|\dot{Z}(t)|^2} & \left[I \sum_{r_1=0}^l k_{r_1} \left(\frac{d \operatorname{Re} \tilde{B}_{r_1 l}(t)}{dt} \sin \vartheta_{r_1} + \right. \right. \\ & + \Delta \omega_{r_1} \operatorname{Re} \tilde{B}_{r_1 l}(t) \cos \vartheta_{r_1} + \frac{d \operatorname{Im} \tilde{B}_{r_1 l}(t)}{dt} \cos \vartheta_{r_1} - \\ & \left. \left. - \Delta \omega_{r_1} \operatorname{Im} \tilde{B}_{r_1 l}(t) \sin \vartheta_{r_1} \right) - Q \sum_{r_1=0}^l k_{r_1} \left(\frac{d \operatorname{Re} \tilde{B}_{r_1 l}(t)}{dt} \cos \vartheta_{r_1} - \right. \right. \\ & \left. \left. - \Delta \omega_{r_1} \operatorname{Re} \tilde{B}_{r_1 l}(t) \sin \vartheta_{r_1} - \frac{d \operatorname{Im} \tilde{B}_{r_1 l}(t)}{dt} \sin \vartheta_{r_1} - \right. \right. \\ & \left. \left. - \Delta \omega_{r_1} \operatorname{Im} \tilde{B}_{r_1 l}(t) \cos \vartheta_{r_1} \right) \right] \end{aligned} \quad (19)$$

Упростим (19) с помощью соотношений (4.4.5) и (4.4.6), полученных в работе [15] (см. выражения (20)), которые преобразуем, используя замену $\omega_0 = 2\Delta\Omega_0/\alpha_\Delta U$, где под U в зависимости от типа ЛИС подразумевается или затухание контура σ , или относительная полоса прозрачности $\mu = 2\Delta\Omega_0/\omega_0$, являющихся малым параметром [15].

$$\operatorname{Re} \dot{B}_0(t) = \frac{\Delta\Omega_0}{\alpha_\Delta} \int_0^t \frac{A_0(\tau)}{k} \cos(\Delta\omega\tau + \xi) d\tau, \quad (20)$$

$$\operatorname{Im} \dot{B}_0(t) = -\frac{\Delta\Omega_0}{\alpha_\Delta} \int_0^t \frac{A_0(\tau)}{k} \sin(\Delta\omega\tau + \xi) d\tau.$$

Здесь k и ξ — модуль коэффициента передачи ЛИС и вносимый ею постоянный фазовый сдвиг на частоте $\omega_0 + \Delta\omega$; $A_0(\tau) = A(\tau)/U$; $A(\tau)$ — огибающая отклика на единичное ступенчатое воздействие без учёта постоянного фазового сдвига, кратного $-\pi/2$ [15]; α_Δ — результирующая обобщенная расстройка по частоте, при которой определяется полоса пропускания или полоса прозрачности ЛИС [15].

С учётом (20) соотношения $\frac{d \operatorname{Re} \tilde{B}_{r_1 l}(t)}{dt}$ и $\frac{d \operatorname{Im} \tilde{B}_{r_1 l}(t)}{dt}$ примут вид

$$\frac{d \operatorname{Re} \tilde{B}_{r_1 l}(t)}{dt} = \frac{\Delta\Omega_0}{k_{r_1} \alpha_\Delta} \left[A'_0(r_1, t) \cos v_{r_1} - A''_0(r_1, l, t) \cos v'_{r_1} \right], \quad (21)$$

$$\frac{d \operatorname{Im} \tilde{B}_{r_1 l}(t)}{dt} = \frac{\Delta\Omega_0}{k_{r_1} \alpha_\Delta} \left[-A'_0(r_1, t) \sin v_{r_1} + A''_0(r_1, l, t) \sin v'_{r_1} \right]. \quad (22)$$

Здесь и далее $A'_0(r_1, t) = 1(r_1 - 1) A_0(t - (r_1 - 1)\tau_s)$ и $A''_0(r_1, l, t) = 1(l - r_1 - 1) A_0(t - r_1\tau_s)$;

$$v_{r_1} = \Delta\omega_{r_1} [t - (r_1 - 1)\tau_s] + \xi_{r_1}; \quad v'_{r_1} = \Delta\omega_{r_1} [t - r_1\tau_s] + \xi_{r_1}.$$

Используя результаты (21) и (22), упростим соотношения $\frac{d \operatorname{Re} \tilde{B}_{r_1 l}(t)}{dt} \sin \vartheta_{r_1} + \frac{d \operatorname{Im} \tilde{B}_{r_1 l}(t)}{dt} \cos \vartheta_{r_1}$ и $\frac{d \operatorname{Re} \tilde{B}_{r_1 l}(t)}{dt} \cos \vartheta_{r_1} - \frac{d \operatorname{Im} \tilde{B}_{r_1 l}(t)}{dt} \sin \vartheta_{r_1}$, при этом для получения обобщенных результатов будем полагать, что в данном случае $\vartheta_{r_1} = \Delta\omega_{r_1} [t - (r_1 - 1)\tau_s] + \psi_{r_1}$. Корректность такого подхода заключается в том, что при $r_1 = 0$, $A'_0(0, t) = 0$ и тем самым ϑ_{r_1} не влияет на конечный результат, в остальных случаях ($r_1 \geq 1$) результаты будут идентичными с предыдущим определением.

Таким образом, указанные соотношения примут вид

$$\begin{aligned} \frac{d \operatorname{Re} \tilde{B}_{r_1 l}(t)}{dt} \sin \vartheta_{r_1} + \frac{d \operatorname{Im} \tilde{B}_{r_1 l}(t)}{dt} \cos \vartheta_{r_1} & = \frac{\Delta\Omega_0}{\alpha_\Delta k_{r_1}} \left[A'_0(r_1, t) \times \right. \\ & \times (\cos v_{r_1} \sin \vartheta_{r_1} - \sin v_{r_1} \cos \vartheta_{r_1}) + A''_0(r_1, l, t) (\sin v'_{r_1} \cos \vartheta_{r_1} - \\ & \left. - \cos v'_{r_1} \sin \vartheta_{r_1}) \right] = \frac{\Delta\Omega_0}{\alpha_\Delta k_{r_1}} \left[A'_0(r_1, t) \sin \gamma_{r_1} - \right. \\ & \left. - A''_0(r_1, l, t) \sin(\Delta\omega_{r_1} \tau_s + \gamma_{r_1}) \right]; \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} \frac{d \operatorname{Re} \tilde{B}_{r_1 l}(t)}{dt} \cos \vartheta_{r_1} - \frac{d \operatorname{Im} \tilde{B}_{r_1 l}(t)}{dt} \sin \vartheta_{r_1} & = \frac{\Delta\Omega_0}{\alpha_\Delta k_{r_1}} \left[A'_0(r_1, t) \times \right. \\ & \times (\cos v_{r_1} \cos \vartheta_{r_1} + \sin v_{r_1} \sin \vartheta_{r_1}) - A''_0(r_1, l, t) (\cos v'_{r_1} \cos \vartheta_{r_1} + \\ & \left. + \sin v'_{r_1} \sin \vartheta_{r_1}) \right] = \frac{\Delta\Omega_0}{\alpha_\Delta k_{r_1}} \left[A'_0(r_1, t) \cos \gamma_{r_1} - \right. \\ & \left. - A''_0(r_1, l, t) \cos(\Delta\omega_{r_1} \tau_s + \gamma_{r_1}) \right]; \end{aligned} \quad (24)$$

С учётом равенств (2), (19), (23), (24) и ряда простейших преобразований, выражение для мгновенной частоты примет вид

$$\begin{aligned} \omega(t) = \omega_0 + \frac{1}{|\dot{Z}(t)|^2} & \left(\frac{\Delta\Omega_0}{\alpha_\Delta} \sum_{r=0}^l k_r \left[A'_0(r, t) (\operatorname{Re} \tilde{B}_{r l}(t) \sin \Psi_r - \right. \right. \\ & \left. \left. - \operatorname{Im} \tilde{B}_{r l}(t) \cos \Psi_r) + A''_0(r, l, t) (\operatorname{Im} \tilde{B}_{r l}(t) \cos(\Delta\omega_r \tau_s + \Psi_r) - \right. \right. \\ & \left. \left. - \operatorname{Re} \tilde{B}_{r l}(t) \sin(\Delta\omega_r \tau_s + \Psi_r)) \right] + \sum_{r=0}^l k_r^2 \Delta\omega_r |\tilde{B}_{r l}(t)|^2 + \right. \\ & \left. + \sum_{r=1}^l k_r \sum_{r_1=0}^{r-1} k_{r_1} \Delta\omega_{r_1} S_1(r, r_1, l, t) + \sum_{r=0}^{l-1} k_r \sum_{r_1=r+1}^l k_{r_1} \Delta\omega_{r_1} S_1(r, r_1, l, t) + \right. \\ & \left. + \frac{\Delta\Omega_0}{\alpha_\Delta} \sum_{r=1}^l k_r \sum_{r_1=0}^{r-1} S_2(r, r_1, l, t) + \frac{\Delta\Omega_0}{\alpha_\Delta} \sum_{r=0}^{l-1} k_r \sum_{r_1=r+1}^l S_2(r, r_1, l, t) \right); \end{aligned}$$

где

$$S_1(r, r_1, l, t) = P_1(r, r_1, l, t) \cos \Delta \vartheta_{r r_1} + P_2(r, r_1, l, t) \sin \Delta \vartheta_{r r_1};$$

$$P_2(r, r_1, l, t) = \operatorname{Re} \tilde{B}_{r l}(t) \operatorname{Im} \tilde{B}_{r_1 l}(t) - \operatorname{Im} \tilde{B}_{r l}(t) \operatorname{Re} \tilde{B}_{r_1 l}(t);$$

$$\Gamma_{r_1 r} = \gamma_{r_1} - \vartheta_r = -(\Sigma_\omega + \xi_r + \Delta \omega_r [t - (r-1)1(r-1)\tau_s]);$$

$$\Psi_r = \Gamma_{r r} = -(\xi_r + \Delta \omega_r [t - (r-1)1(r-1)\tau_s]);$$

$$S_2(r, r_1, l, t) = A_0'(r_1, t) (\operatorname{Re} \tilde{B}_{r l}(t) \sin \Gamma_{r_1 r} - \operatorname{Im} \tilde{B}_{r l}(t) \cos \Gamma_{r_1 r}) + \\ + A_0''(r_1, l, t) (\operatorname{Im} \tilde{B}_{r l}(t) \cos(\Delta \omega_{r_1} \tau_s + \Gamma_{r_1 r}) - \\ - \operatorname{Re} \tilde{B}_{r l}(t) \sin(\Delta \omega_{r_1} \tau_s + \Gamma_{r_1 r})).$$

Перейдём к решению второй подзадачи. Поскольку для ЛИС справедлив принцип транспозиции, то очевидно, что разрешающее время можно с заданной точностью ε_{res} аппроксимировать наибольшим временем установления $t_{set_{G+1}}$ для $G+1$ символа

$$\left(t_{set_{G+1}} = t_{res} \Big|_{l=G+1} = \left\{ \tau_{b.w_i}^{(G+1)} \right\}_{i=1}^{S_{FSK_{G+1}}} \cup \left\{ \tau_{e.w_i}^{(G+1)} \right\}_{i=1}^{S_{FSK_{G+1}}} \cup \left\{ \tau_{FSK.bd}^{(G+1)} \right\} \right),$$

где G — эффективная память [17], то есть $|t_{set_{G+1}} - t_{res}| \leq \varepsilon_{res}$ и $\lim_{d \rightarrow l} t_{set_d} = t_{res}$, а функциональный ряд, определяющий передачу бесконечной информационной последовательности, $\lim_{l \rightarrow \infty} \sum_{r=0}^l k_r \tilde{B}_{r l}(l\tau_s) \exp(j\vartheta_r)$ равномерно сходится при $\tau_s \geq 0$ и $\forall \Delta \omega_r$, поэтому $\lim_{l \rightarrow \infty} \left| \sum_{r=0}^l k_r \tilde{B}_{r l}(l\tau_s) \exp(j\vartheta_r) \right| \leq \lim_{l \rightarrow \infty} \sum_{r=0}^l k_r |\tilde{B}_{r l}(l\tau_s)|$.

В результате зависимость эффективной памяти от длины символа можно определить следующим образом

$$\left. \begin{aligned} \hat{G}(\tau_s) &= \max_{\beta} \{G_{\beta}(\tau_s)\}; \\ \min_{G_{\beta}(\tau_s)} &\left\{ \left(r_{h_{\beta}} + \sum_{r_1=0}^{h_{\beta}} k_{r_1} \left| \hat{B}_{r_1(h_{\beta}+1)}(\tau_s) \right| - \right. \right. \\ &\left. \left. - \sum_{r_1=0}^{G_{\beta}(\tau_s)+1} k_{r_1} \left| \hat{B}_{r_1(G_{\beta}(\tau_s)+1)}(\tau_s) \right| \right) \in (0; \varepsilon_{\beta}] \right\} \end{aligned} \right\}. \quad (25)$$

Здесь для удобства анализа произведена перенумерация символов с помощью $r_1 = d - r$, в результате уменьшение значения r_1 соответствует приближению к значению принимаемого символа d ; $\hat{B}_{r_1 d}(\tau_s) = \tilde{B}_{r d}(d\tau_s) \Big|_{r=d-r_1}$

$k_{r_1} = k_r \Big|_{r=d-r_1}$; $\beta = \overline{1, F}$ и F — номер информационной последовательности, используемой для оценки эффективной памяти и их общее число, соответственно; $r_{h_{\beta}}$ — h_{β} -й остаток ряда $\lim_{l \rightarrow \infty} \sum_{r_1=0}^l k_{r_1} \left| \hat{B}_{r_1 l}(\tau_s) \right|$ при β -ой информационной последовательности; ε_{β} — ошибка при аппроксимации ряда его частичной суммой для β -ой информационной последовательности.

В общем случае решение задачи можно производить, используя следующие подходы: 1) метод динамического программирования; 2) полный перебор значений информационных символов передаваемой последовательности. С практической точки зрения число символов в информационной последовательности можно ограничить $l = 15 \div 20$, что обусловлено быстрым убыванием приращений функции установления к нулю с увеличением r_1 ; 3) частичный перебор значений символов в информационной последовательности, то есть использование тестовых комбинаций, с последующей дополнительной проверкой получаемого результата при определении разрешающего времени.

Из совместного анализа модели канала и результатов работы [15] следует, что целесообразно использовать третий подход при ограничениях, накладываемых на ЛИС в модели. В качестве тестовых последовательностей $\{\Delta \omega_{r_1}\}_{r_1=0}^l$ необходимо использовать следующие из них, задавая с помощью значений каждого элемента множества:

$$a) \beta=1, \Delta \omega_{r_1} = \min_{g \in \{1, n\}} |\omega'_g - \omega_0|, \forall r_1;$$

$$б) \beta=2, \Delta \omega_{r_1} = \max_{g \in \{1, n\}} |\omega'_g - \omega_0|, \forall r_1;$$

$$в) \beta=3, \Delta \omega_{r_1} = \arg \max_{\omega'_k \in W} k_{r_1}, \forall r_1;$$

$$г) \beta=4, \Delta \omega_{r_1} = \begin{cases} \min_{g \in \{1, n\}} |\omega'_g - \omega_0|, & \text{при } r_1 = 2q; \\ \max_{g \in \{1, n\}} |\omega'_g - \omega_0|, & \text{при } r_1 = 2q + 1 \end{cases}$$

$$д) \beta=5, \Delta \omega_{r_1} = \begin{cases} \max_{g \in \{1, n\}} |\omega'_g - \omega_0|, & \text{при } r_1 = 2q + 1; \\ \min_{g \in \{1, n\}} |\omega'_g - \omega_0|, & \text{при } r_1 = 2q; \end{cases}$$

$$е) \beta=6, \Delta \omega_{r_1} = \begin{cases} \arg \max_{\omega'_k \in W} k_{r_1}, & \text{при } r_1 = 2q + 1; \\ \min_{g \in \{1, n\}} |\omega'_g - \omega_0|, & \text{при } r_1 = 2q; \end{cases}$$

$$ж) \beta=7, \Delta \omega_{r_1} = \begin{cases} \min_{g \in \{1, n\}} |\omega'_g - \omega_0|, & \text{при } r_1 = 2q + 1; \\ \arg \max_{\omega'_k \in W} k_{r_1}, & \text{при } r_1 = 2q; \end{cases}$$

где $q \in \mathbb{N}$.

Для оценки остатка ряда r_{h_p} будем использовать следующие мажорирующие ряды и оценки их остатков рядов $r_{h_m}^m$ и номера члена h_m ряда, с которого обеспечивается данный остаток, выбранные на основании анализа работы [15]:

$$1) \text{ первый тип } (m = 1) \text{ — } \sum_{h=1}^{\infty} \exp(-\sigma_{1h} \tau_s) = \sum_{h=1}^{\infty} u_{1h}(\tau_s);$$

$$r_{h_1}^1 = \frac{1}{k_1 \tau_s} \exp(-[k_1(h_1 + 1) + b_1] \tau_s); \quad (26)$$

$$h_1 = \left\lceil - \left[\frac{\ln r_{h_1}^1 k_1 \tau_s}{k_1 \tau_s} + \frac{b_1}{k_1} + 1 \right] \right\rceil; \quad (27)$$

$$2) \text{ второй тип } (m = 2) \text{ — } \sum_{h=1}^{\infty} \sigma_{2h} \tau_s \exp(-\sigma_{2h} \tau_s) = \sum_{h=1}^{\infty} u_{2h}(\tau_s);$$

$$r_{h_2}^2 = \left[h_2 + 1 + \frac{b_2}{k_2} + \frac{1}{k_2 \tau_s} \right] \exp(-[k_2(h_2 + 1) + b_2] \tau_s); \quad (28)$$

$$h_2 = \left\lceil - \left[\frac{1 + W_{-1}(-k_2 \tau_s r_{h_2}^2 \exp(-1))}{k_2 \tau_s} + \frac{b_2}{k_2} + 1 \right] \right\rceil; \quad (29)$$

3) третий тип ($m = 3$) —

$$\sum_{h=1}^{\infty} (1 + \sigma_{3h} \tau_s) \exp(-\sigma_{3h} \tau_s) = \sum_{h=1}^{\infty} u_{3h}(\tau_s);$$

$$r_{h_3}^3 = \left[h_3 + 1 + \frac{b_3}{k_3} + \frac{2}{k_3 \tau_s} \right] \exp(-[k_3(h_3 + 1) + b_3] \tau_s); \quad (30)$$

$$h_3 = \left\lceil - \left[\frac{2 + W_{-1}(-k_3 \tau_s r_{h_3}^3 \exp(-2))}{k_3 \tau_s} + \frac{b_3}{k_3} + 1 \right] \right\rceil. \quad (31)$$

Здесь $W_{-1}(\cdot)$ — W -функция Ламберта с выбором ветви -1 ; $\lceil \cdot \rceil$ — операция округления в большую сторону. На основании [15] полагается, что во всех типах мажорирующих рядов $\sigma_{mh} = k_m h + b_m$, а оценка параметров происходит следующим образом

а) для ряда первого типа

$$\begin{aligned} k_1 &= \left(\ln Y_3^{(1)} / \tilde{\tau}_3^{(1)} - \ln Y_{10}^{(1)} / \tilde{\tau}_{10}^{(1)} \right) / 7; \\ b_1 &= \left(3 \ln Y_{10}^{(1)} / \tilde{\tau}_{10}^{(1)} - 10 \ln Y_3^{(1)} / \tilde{\tau}_3^{(1)} \right) / 7; \end{aligned} \quad (32)$$

б) для ряда второго типа

$$\begin{aligned} k_2 &= \left(W_{-1}[-Y_3^{(2)} \exp(-1)] / \tilde{\tau}_3^{(2)} - \right. \\ &\quad \left. - W_{-1}[-Y_{10}^{(2)} \exp(-1)] / \tilde{\tau}_{10}^{(2)} \right) / 7; \\ b_2 &= \left(3 W_{-1}[-Y_{10}^{(2)} \exp(-1)] / \tilde{\tau}_{10}^{(2)} - \right. \\ &\quad \left. - 10 W_{-1}[-Y_3^{(2)} \exp(-1)] / \tilde{\tau}_3^{(2)} \right) / 7; \end{aligned} \quad (33)$$

в) для ряда третьего типа

$$\begin{aligned} k_3 &= \left(\left(1 + W_{-1}[-Y_3^{(3)} \exp(-1)] \right) / \tilde{\tau}_3^{(3)} - \right. \\ &\quad \left. - \left(1 + W_{-1}[-Y_{10}^{(3)} \exp(-1)] \right) / \tilde{\tau}_{10}^{(3)} \right) / 7; \\ b_3 &= \left(3 \left(1 + W_{-1}[-Y_{10}^{(3)} \exp(-1)] \right) / \tilde{\tau}_{10}^{(3)} - \right. \\ &\quad \left. - 10 \left(1 + W_{-1}[-Y_3^{(3)} \exp(-1)] \right) / \tilde{\tau}_3^{(3)} \right) / 7; \end{aligned} \quad (34)$$

определение значений параметров $Y_{r_1}^{(m)}$ и $\tilde{\tau}_{r_1}^{(m)}$ происходит в соответствии со следующим правилом и учётом того, что $t_{s.FSK_{r_1}} = T_{f.res} |_{l=r_1} = \left\{ t_{f.b.w_i}^{(r_1)} \right\}_{i=1}^{S_{r_1}} \cup \left\{ t_{f.e.w_i}^{(r_1)} \right\}_{i=1}^{S_{r_1}} \cup \left\{ t_{f.bd}^{(r_1)} \right\}$:

а) при монотонном изменении функции установления значение параметров — из решения уравнения $Y_{r_1}^{(m)} = f(\tilde{\tau}_{r_1}^{(m)}) = \min_{\tau'_s \rightarrow \infty} |\alpha \hat{B}_{r_1 l}(\tau'_s)| > 0$, где $\tau'_s \in [t_{f.bd}^{(3)}; 2t_{f.bd}^{(3)}]$;

б) при наличии затухающих колебаний у функции установления — из решения уравнения $Y_{r_1}^{(m)} = \left| \alpha \hat{B}_{r_1 l}(\tilde{\tau}_{r_1}^{(m)}) \right|$, где $\tilde{\tau}_{r_1}^{(m)} = \max T_{r_1}^{(m)}$;

$$T_{r_1}^{(m)} = \left\{ \tau_{\max_i} \in \tau'_s \mid \tau'_s \in [t_{f.b.w_i}^{(3)}; 2t_{f.bd}^{(3)}], \forall \tau'_s \in \dot{U}(\tau_{\max_i}), \right.$$

$$\left. \left| \hat{B}_{r_1 l}(\tau'_s) \right| \leq \left| \hat{B}_{r_1 l}(\tau_{\max_i}) \right|; i = \overline{1, E_{r_1}} \right\}.$$

Здесь $\alpha = \max k_r$, а при определении $\hat{B}_{r_1 l}(\tau'_s)$ в качестве расстройки используется то его значение из сигнального созвездия, при котором достигается наибольшее значение модуля коэффициента передачи ЛИС. Использование значений, составляющих $t_{s.FSK_3}$, обусловлено тем, что

в работе [18] было показано, что память канала составляет не менее 3...4 символов.

Выбор типа мажорирующего ряда m происходит на основании анализа множества, определяющего номера членов используемых, для оценок остатков рядов

$$Q = \left\{ h_m | u_{mq}(\tau_s^{(m)}) - \hat{B}_{ql}(\tau_s^{(m)}) \right\} \geq 0, \forall q \in [h_m; l], m = \overline{1, 3},$$

где при монотонном изменении функции установления $\tau_s^{(m)} \in [t_{f.bd}^{(3)}; \tau_3^{(m)}]$, а при наличии затухающих колебаний — $\tau_s^{(m)} \in [t_{f.b.w_1}^{(3)}; \tau_3^{(m)}]$. При этом при анализе целесообразно положить $l=20$. В общем случае оценка m происходит в соответствии с

$$m' = \arg \min_{m \in [1,3]} \sum_{k=1}^3 \delta_{km} h_k, \quad (35)$$

а в том случае, когда m представляет набор решений полученного с помощью, необходимо использовать следующее правило

$$m' = \arg \min_{m \in M} \left(\max_{\tau_s \in \tau_s^{(m)}} \left\{ u_{mh_m}(\tau_s) - \hat{B}_{h_m l}(\tau_s) > 0 \right\} \right), \quad (36)$$

где δ_{km} — дельта Кронекера; $M = \arg \min_{m \in [1,3]} \sum_{k=1}^3 \delta_{km} h_k$.

С учетом полученных выше результатов алгоритм оценки зависимости эффективной памяти от длительности имеет следующий вид:

- 1) происходит определение параметров мажорирующих рядов с использованием (32)–(34);
- 2) происходит определение значений h_m , полагая $r_{h_m}^m = 0, 01\epsilon$, с использованием (27), (29), (31);
- 3) происходит уточнение $r_{h_m}^m$ на основании полученных оценок h_m с использованием (26), (28), (30);
- 4) происходит определение типа мажорирующего ряда m с помощью, и номер члена ряда $h_{m'}$ для оценки его остатка с последующим определением зависимости эффективной памяти для $\forall \beta$ -ой информационной последовательности, представляя второе соотношение (25) в виде

$$\min_{G_\beta(\tau_s)} \left\{ r_{h_{m'}}^{m'} + \sum_{r_1=0}^{h_{m'}} k_{r_1} \left| \hat{B}_{r_1(h_{m'}+1)}(\tau_s) \right| - \sum_{r_1=0}^{G_\beta(\tau_s)+1} k_{r_1} \left| \hat{B}_{r_1(G_\beta(\tau_s)+1)}(\tau_s) \right| \in (0; \epsilon_\beta] \right\}, \quad (37)$$

где $\tau_s \in \tau_s^{(m)}$.

Перейдем к решению третьей подзадачи. Из выражения следует, что оценка ϵ_{res} будет связана с ϵ_β , как разность между огибающими переходного процесса, вызванной передачей ЧМн- n -НФ сигнала через ЛИС.

Таким образом, определение значение ϵ_β сводится к решению следующего уравнения при полном переборе всех комбинаций информационной последовательности, состоящей из 3-х символов.

$$\epsilon_\beta = \min \left\| \dot{Z}(3t_{s.FSK_3}) - \dot{Z}(3[t_{s.FSK_3} + \epsilon_{res}]) \right\|,$$

где $t_{s.FSK_3}$ определяется в соответствии с определением наибольшего времени установления на основании решения следующей системы уравнений

$$\left. \begin{aligned} |\omega(\tau_s) - \omega_1| &\leq \Delta\Omega_{acc} \\ |\omega(2\tau_s) - \omega_2| &\leq \Delta\Omega_{acc} \\ |\omega(3\tau_s) - \omega_3| &\leq \Delta\Omega_{acc} \end{aligned} \right\}$$

Первоначальная оценка разрешающего времени соответствует $t_{res_1} = \min t_{s.FSK_3}$, а первоначальная оценка эффективной памяти определяется в соответствии с

$$G_1 = \hat{G}(\min(t_{s.FSK_3})).$$

Рассмотрим решение четвертой из перечисленных подзадач. Определение наименьшего числа реализаций N_{min} , необходимого для обеспечения заданной допустимой погрешности λ , на которую может отличаться взятая по абсолютному значению разница между двумя функциями распределений рассматриваемых ошибок установлений по частоте при сравниваемых значениях числа реализаций, будем производить следующим образом.

Оценку верхней границы минимального числа реализаций N'_c при вероятности $P(|P_{N'_c}^* - P_{FSK}| < \lambda) > 0,99$ произведем с помощью теоремы Бернулли, которую с учётом неравенства Чебышева, для данной соотношения представим в виде $N'_c = \frac{P_{FSK}(1 - P_{FSK})}{0,01\lambda^2}$. Здесь $P_{N'_c}^*$ — частота события при N'_c , для которого ошибка установления по частоте не превосходит значения Ω_{md} ; $P_{FSK} = F_\Omega(\Omega_{md}, N_v, t_{res_1}, G_1 + 1)$ — вероятность такого события, что при числе реализаций N_v ошибка установления по частоте не превосходит значения Ω_{md} ; v — номер шага решения. Определение значения Ω_{md} происходит в соответствии со следующими соотношением

$$\Omega_{md} : f(\Omega_{md}) = \max_{\Omega} |F_\Omega(\Omega, N_v, t_{res_1}, G_1 + 1) - F_\Omega(\Omega, N_{v+1}, t_{res_1}, G_1 + 1)| \leq \lambda, N_v \rightarrow \min,$$

а определение N_{\min} — из следующего соотношения

$$N_{\min} = N'_{v_b} : f(N'_{v_b}, t_{res_1}, G_1 + 1) = \\ = \min_{N_{v_b}} \left\{ \max_{\Omega} \left| F_{\Omega}(\Omega, N_v, t_{res_1}, G_1 + 1) - \right. \right. \\ \left. \left. - F_{\Omega}(\Omega, N'_c, t_{res_1}, G_1 + 1) \right| \leq \lambda \right\}$$

где $F_{\Omega}(\Omega_{md}, N_v, t_{res_1}, G_1 + 1)$, $F_{\Omega}(\Omega, N'_c, t_{res_1}, G_1 + 1)$ — функции распределения ошибок установлений по частоте для v шага и шага, соответствующего числу реализаций N'_c , для $(G_1 + 1)$ -го радиоимпульса при его длительности t_{res_1} , соответственно; Ω — порог погрешности установления мгновенной частоты, используемый для оценки указанных функций.

Отсутствие необходимости в решении аналогичной задачи для огибающей на данном этапе обусловлено тем, что характер поведения огибающей полностью определяется поведением мгновенной частоты, тем самым решение данной задачи только для мгновенной частоты будет также искомым решением и для огибающей в рассматриваемом случае, поскольку манипуляция по амплитуде сигнала отсутствует.

Решение заключительной подзадачи из списка происходит следующим образом. С использованием полученных результатов производится оценка зависимости вероятности ошибки на символ от длительности символа $\tau_s \geq t_{res_1}$, которая вызвана наличием МСИ в канале связи. Оценка производится для каждого символа информационной последовательности с порядковым номером $\kappa = \overline{1, G_1 + 4}$ в соответствии с выражением

$$P_{err.s}(\tau_s, \kappa) = 1 - \sum_{i=1}^{N_{\min}} 1 \left[\Omega_{acc} - |\omega(\kappa\tau_s, i) - \omega_{ki}| \right] / N_{\min}, \quad (38)$$

где $\omega(\kappa\tau_s, i)$ — значение мгновенной частоты ЧМн- n -НФ сигнала на выходе ЛИС в момент $\kappa\tau_s$ для i -й реализации передаваемой информационной последовательности символов; ω_{ki} — значение частоты κ -го радиоимпульса ЧМн- n -НФ на входе ЛИС для i -й реализации информационной последовательности.

После получения оценок вероятностей ошибок на символ производится решение системы уравнений относительно τ_s

$$\left. \begin{array}{l} P_{err.s}(\tau_s, 1) = 0 \\ \vdots \\ P_{err.s}(\tau_s, G_1 + 4) = 0 \end{array} \right\}. \quad (39)$$

На основании решения системы уравнений происходит определение значения наибольшего времени установления и соответствующее значение $T_{f.res}$ при заданной точности ε_{res} , а также определение номера символа $G + 1$ в информационной последовательности, после которого зависимости вероятности ошибки на символ для всех последующих символов не оказывают влияние на получаемую оценку разрешающего времени $T_{f.res}$. В этом случае эффективная память канала связи будет определяться первыми G символами с начала передачи информационной последовательности.

Далее производится построение зависимости для огибающей $P_{env}(\tau_s)$, аналогичной

$$P_{env}(\tau_s) = 1 - \sum_{i=1}^{N_{\min}} 1 \left[H((G + 1)\tau_s, i) - M'_{thr} \right] / N_{\min},$$

где $H((G + 1)\tau_s, i)$ — значение физической огибающей ЧМн- n -НФ сигнала при $(G + 1)\tau_s$ и i -й реализации. Затем производится решение следующего уравнения $P_{env}(\tau_s) = 0$ с целью определения $T_{env.res}$ с учетом ограничения, накладываемого на уровень физической огибающей, после чего производится определение разрешающего времени и пропускной способности с помощью (16) и (18), соответственно.

Следует отметить, что решение всех подзадач за исключением первой позволяет определить условия, при которых ЧМн- n -НФ-сигнал становится цикло стационарным процессом.

Заключение

В заключение работы хотелось бы отметить основные полученные результаты: разработана математическая модель канала связи с памятью, реализующая принципы теории разрешающего времени при приеме и обработке ЧМн- n -НФ сигналов. Модель учитывает ошибки измерений, которые вносит приёмник при определении физической огибающей и мгновенной частоты. Это, в частности, позволяет анализировать влияния нестабильности синтезатора частот реальной РСПИ на качество принимаемого сигнала. При этом разработанный численный метод оценки пропускной способности и разрешающего времени дополнительно позволяет производить оптимизацию с учетом передаточной характеристики частотно избирательного канала связи и сигнального созвездия ЧМн- n -НФ сигналов аналогично тому, как это было сделано в работах [6, 7] для других типов сигналов.

Литература

1. Navarro-Ortiz J., Romero-Diaz P., Sendra S., Ameigeiras P., Ramos-Munoz J. J., Lopez-Soler J. M. A Survey on 5G Usage Scenarios and Traffic Models // IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2020. № 2. Pp. 905–929.

2. Шалагинов А. В. eLTE как очередной этап развития профессиональных мобильных радиосистем // Connect WIT. 2016. № 9. С. 80–85.
3. Лернер И. М., Ильин Г. И., Файзуллин Р. Р., Кадушкин В. В., Лопатина А. В. К вопросу повышения пропускной способности радиотехнических систем // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2016. № 4. С. 43–49.
4. Прокис Дж. Цифровая связь / Пер. с англ.; Под ред. Д. Д. Кловского. М.: Радио и связь. 2000. 800 с.
5. Золотарев И. Д., Миллер Я. Э. Переходные процессы в колебательных системах и цепях. М.: Радиотехника, 2010. 304 с.
6. Лернер И. М. К вопросу оптимизации амплитудно-частотных характеристик каналов связи с ФМН- n -сигналами, построенных на основе теории разрешающего времени // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2019. Т. 13. № 9. С. 36–49.
7. Лернер И. М. О влиянии формы амплитудно-частотной характеристики на пропускную способность канала связи с памятью, использующего принципы теории разрешающего времени, с АФМН- N -сигналами // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2019. Т. 13. № 10. С. 45–59.
8. Лернер И. М., Ильин Г. И. Об одной возможности увеличения скорости передачи при наличии дестабилизирующих факторов в системах связи, использующих взаимную интерференцию символов // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2017. Т. 20. № 4. С. 24–34.
9. Лернер И. М., Файзуллин Р. Р., Чернявский С. М. К вопросу повышения спектральной эффективности фазовых радиотехнических систем передачи информации, функционирующих при сильных межсимвольных искажениях // Изв. вузов. Авиационная техника. 2018. № 1. С. 113–118.
10. Суржиков Д. М., Климов А. И. Сравнительная характеристика стандартов цифровой радиосвязи Tetra и DMR // Инновационная наука. 2019. № 4. С. 78–80.
11. Zorlu H. E., Ceven M., Arslan H. Reception of C4FM and CQPSK signals in APCO Project-25 // IEEE 17th Signal Processing and Communications Applications Conference (Antalya, Turkey, April 9-11, 2009). IEEE, 2009. Pp. 745–749.
12. Anderson J. B., Aulin T., Sunberg C.-E. Digital Phase Modulation. N.Y.: Plenum Press, 1986. 504 p.
13. Воронин О. И., Понов А. М. Методика лексикографической оптимизации свойств функции неопределенности сложных сигналов с дискретной частотной модуляцией // Двойные технологии. 2016. № 1. С. 46–50.
14. Вальдман Д. Г., Макаров С. Б., Тарпо В. И. Синтез спектрально-эффективных сигналов с заданными частотно-временными характеристиками для систем связи // Техника радиосвязи. 1997. Вып. 3. С. 22–33.
15. Евтянов С. И. Избранные статьи. М.: МЭИ, 2013. 304 с.
16. Лернер И. М. О влиянии формы амплитудно-частотной характеристики на пропускную способность канала связи с памятью, использующего принципы теории разрешающего времени, с АФМН- N -сигналами // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2019. Т. 13. № 10. С. 45–59.
17. Лернер И. М., Ильин Г. И., Ильин А. Г. К вопросу о циклостационарности АФМн- N -сигналов, наблюдаемых на выходе канала связи с межсимвольными искажениями // Вестник КГТУ им. А. Н. Туполева. 2018. № 3. С. 107–117.
18. Карташевский В. Г., Шутов Д. А. Алгоритм демодуляции сигналов ФМ-8 в канале с памятью // DSPA: Вопросы применения цифровой обработки сигналов. 2011. Т. 1. № 1. С. 28–30.



DEVELOPMENT OF RADIOENGINEERING DATA TRANSMISSION SYSTEM FOR FSK-N SIGNALS WITH CONTINUOUS PHASE BASED ON THE THEORY OF RESOLUTION TIME

ILYA M. LERNER

Kazan, Russia, aviap@mail.ru

SERGEY M. CHERNYAVSKII

Kazan, Russia, chernyavskii@mail.ru

VLADISLAV V. KADUSHKIN

Kazan, Russia, vladislav.kadushkin@gmail.com

KEYWORDS: FSK-n-signals; intersymbol interference; the Theory of resolution time; capacity estimation method; channel with memory.

ABSTRACT

At present, frequency-shift keyed signals with n discrete states have found wide application in various radio-technical digital communication systems. The main factor holding back their further development is on the one hand the limited currently attainable capacity with a given level of Quality of Service and, as a consequence, the transmission rate, which is due to a complex signal-and-noise environment, intersymbol interference and intersystem interference, and on the other hand, the attainable level of technical feasibility. The main method to increase the transmission speed in such communication systems is the transition to work in the conditions of intersymbol interference. The existing approaches to solving this problem, such as optimal and suboptimal processing methods that transform a channel with memory into a channel without memory, are of little interest because of the poor practical feasibility of the receiver itself, in principle. An alternative approach that solves this problem is the development of communication systems based on the provisions developed within the Theory of resolution time. Expanding the applicability of these provisions to service communication systems, the authors set the goal of developing a numerical method for assessing the capacity of a communication channel with memory caused by the frequency selective properties of a real channel, using frequency-shift keyed signals with n discrete states and a continuous phase. To achieve this goal, within the framework of the paper, the mathematical model of a communication channel with memory for frequency-shift keyed signals with n discrete states and continuous phase was developed, taking into account the measurement errors introduced by the receiver for determining the physical envelope and instantaneous frequency. This, in particular, makes it possible to analyze the influence of the frequency instability of the synthesizer employed in real radio-technical information transmission system on the reception quality. In this case, the mathematical model allows to optimize the system taking into account the transfer characteristic of the frequency selective communication channel of the signal constellation.

REFERENCES

1. Navarro-Ortiz J., Romero-Diaz P., Sendra S., Ameigeiras P., Ramos-Munoz J. J., Lopez-Soler J. M. A Survey on 5G Usage Scenarios and Traffic Models. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2020. Vol. 22. Is. 2. Pp. 905-929.
2. Shalaginov A.V. eLTE kak ocherednoj jetap razvitiya professional'nyh mobil'nyh radiosistem [eLTE as the next stage in the development of professional mobile radio systems]. *Connect WIT*. 2016. No. 9. Pp. 80-85. (In Rus)
3. Lerner I.M., Il'in G.I., Fayzullin R.R., Kadushkin V.V., Lopatina A.V. The problem of capacity increase for radioengineering systems. *Fizika volnovykh processov i radiotekhnicheskie sistemy* [Physics of wave processes and radio engineering systems]. 2016. No. 4. Pp. 43-49. (In Rus)
4. Proakis J.G. Digital Communications. 4th ed. N.Y.: McGraw-Hill, 2000. 800 p.
5. Zolotarev I.D., Miller Y.I. *Perehodnye processy v kolebatel'nyh sistemah i cepjakh* [Transient processes in oscillating systems and circuits]. Moscow: Radiotekhnika. 2010. 305 p. (In Rus)
6. Lerner I.M. To the matter of optimization of the amplitude-frequency responses of communication channels with PSK-n-signals based on the theory of resolution time. *T-Comm*. 2019. Vol. 13. No. 9. Pp. 36-49. (In Rus)
7. Lerner I.M. Influence of the shape of the amplitude-frequency response on the capacity of communication channel with memory using APSK-N signals, which implements the theory of resolution time. *T-Comm*. 2019. Vol. 13. No. 10. Pp. 45-59. (In Rus)
8. Lerner I.M., Il'in G.I. The problem of capacity increase for radioengineering systems. *Fizika volnovykh processov i radiotekhnicheskie sistemy* [Physics of wave processes and radio engineering systems]. 2017. No. 4. Pp. 24-34 (In Rus)
9. Lerner I.M., Fayzullin R.R., Chernyavskii S.M. To a matter of increasing the spectral efficiency of phase radio-technical data transmission systems operating under strong intersymbol interference.



Russian Aeronautics. 2018. No.1. Pp. 120-126.

10. Surzhikov D.M., Klimov A.I. Sravnitel'naja harakteristika standartov cifrovoj radiosvjazi Tetra i DMR [Comparative characteristics of Tetra and DMR digital radio standards]. *Innovacionnaja nauka* [Innovative Science]. 2019. No. 4. Pp.78-80. (In Rus)

11. Zorlu H.E., Ceven M., Arslan H. Reception of C4FM and CQPSK signals in APCO Project-25. *Proceedings of 2009 IEEE17th Signal Processing and Communications Applications Conference*, Antalya, Turkey, April 9-11, 2009. IEEE, 2009. Pp. 745-749.

12. Anderson J.B., Aulin T., Sunberg C.-E. *Digital Phase Modulation*. N.Y.: Plenum Press, 1986. 504 p.

13. Voronin O.I., Popov A.M. Technique of lexicographic optimization of properties of function of uncertainty of difficult signals with discrete frequency modulation. *Dvoinye tehnologii* [Double technologies]. 2016. No. 1. Pp. 46-50. (In Rus)

14. Valdman D.G., Makarov S.B., Tearo V.I. Sintez spektral'no-jeffektivnyh signalov s zadannymi chastotno-vremennymi harakteristikami dlja sistem svjazi [Synthesis of Spectrally Effective Signals with Specified Time-Frequency Characteristics for Communication Systems] *Tehnika radiosvjazi* [Radio Communication Technique]. 1997. No. 3. Pp. 22-33. (In Rus)

15. Evtjanov S.I. *Izbrannye stat'i* [Featured Articles] Moscow: Izdatel'skij dom MEI, 2013. 304 p. (In Rus)

16. Lerner I.M. Influence of the shape of the amplitude-frequency response on the capacity of communication channel with memory using APSK-N signals, which implements the theory of resolution time. *T-Comm*. 2019. Vol. 13. No. 10. Pp. 45-59. (In Rus)

17. Lerner I.M., Il'in G.I., Il'in A.G. On the cyclostationarity of apsk-n-signals observed on the output of communication channel with intersymbol interference. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta im. A.N. Tupoleva* [Bulletin of the Kazan State Technical University n.a. A.N. Tupolev]. 2018. No. 3. Pp. 107-117. (In Rus)

18. Kartashevsky V.G., Shutov D.A. *Algoritm demoduljicii signalov FM-8 v kanale s pamjat'ju* [Algorithm for demodulation of FM-8 signals in a channel with memory] DSPA: Voprosy primenenija cifrovoj obrabotki signalov [Proc. Of the DSPA: Issues of using digital signal processing]. 2011. Vol. 1. Pp. 28-30. (In Rus)

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Lerner I.M., PhD, Associated professor at the Department of electronic and quantum means of communication, Kazan national research technical university named after A.N. Tupolev - KAI;

Chernyavskii S.M., PhD, associated professor;

Kadushkin V.V., PhD in technics, associated professor at the Department of Nanotechnologies in electronics, Kazan national research technical university named after A.N. Tupolev - KAI.

For citation: Lerner I.M., Chernyavskii S.M., Kadushkin V.V. The development of radioengineering data transmission system for FSK-n signals with continuous phase based on the theory of resolution time. *H&ES Research*. 2020. Vol. 12. No. 5. Pp. 22-35. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-5-22-35 (In Rus)





doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-5-36-45

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИЕЙ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ В АЭРОПОРТУ

УБАНКИН

Евгений Иванович¹

ПАВЛИКОВ

Сергей Николаевич²

ЧЕРНОВОЛ

Максим Юрьевич³

ЗИМАРЁВА

Евгения Андреевна⁴

АННОТАЦИЯ

Работа выполнена на актуальную тему и посвящена исследованию методов повышения безопасности при посадке воздушного судна в условиях вихревой опасности и изменчивости полей скорости ветра. Основная задача исследования является поиск новой совокупности признаков дистанционного контроля окружающей среды и формирование структуры автоматизированной системы управления воздушным движением при посадке воздушного судна в аэропорту. Расширена структура, перечень задач и методов интеллектуального мониторинга и анализа данных с целью эффективного обнаружения аномалий, угрожающих безопасности воздушного судна и других объектов в районе взлетно-посадочной полосы. Проблема состоит в отставании развития радиоэлектронного оборудования для обеспечения эффективности использования взлетно-посадочной полосы при сохранении и увеличения уровня безопасности воздушного судна при посадке. Предметом – является информационная автоматизированная система обеспечения и управления требуемым уровнем безопасности воздушного движения. Объектом исследования являются методы радиоэлектронного оборудования воздушного судна в районе взлетно-посадочной полосы аэродрома. Целью работы является повышения эффективности использования взлетно-посадочной полосы за счет повышения безопасности путем применения расширенного пространства измеряемых параметров распределенными средствами радиоэлектронного оборудования на воздушном судне в ожидании посадки, оценки угрозы воздушного судна на глиссаде и интеллектуальной поддержки управления воздушного судна, что особенно важно для беспилотных воздушных судов. В работе приведена характеристика и предложения по изменению структуры автоматизированной системы управления, рассмотрены критерии оптимизации. В работе рассматривается задача управления функционированием расширенной структуры системы для повышения эффективности за счет согласованных по времени и задачам информационного мониторинга параметров среды и воздушного судна в районе взлетно-посадочной полосы аэропорта. Актуальность заключается в отсутствии дистанционно измеряемой, оперативной и достоверной информации о динамике системы воздушного судна и окружающей среды достаточной для принятия обоснованных автоматических решений.

Сведения об авторах:

¹к.т.н., доцент, профессор Дальневосточного федерального университета, Владивосток, Российская Федерация, uei@inbox.ru

²к.т.н., проф., профессор Владивостокского государственного университета экономики и сервиса, Владивосток, Российская Федерация, psn1953@mail.ru

³аспирант Владивостокского государственного университета экономики и сервиса, Владивосток, Российская Федерация, kittihokk@mail.ru

⁴аспирант Морского государственного университета им. адм. Г.И. Невельского, Владивосток, Российская Федерация, fogetmenots@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: воздушное судно; сдвиг ветра; радар; скорость; дальность.

Для цитирования: Убанкин Е.И., Павликов С.Н., Черновол М.Ю., Зимарева Е.А. Изменение структуры автоматизированной системы управления организацией воздушного движения в аэропорту // Научные исследования в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 5. С. 36–45. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-5-36-45

Введение

В настоящее время в развитии авиации отмечена тенденция повышения безопасности воздушных судов (ВС) при необходимости увеличения эффективности за счет роста интенсивности работы взлетно-посадочной полосы (ВПП) аэропортов.

Однако это приводит к увеличению очередей, как на взлет, так и в воздухе на посадку. Интенсивность, непредсказуемость условий внешней среды и эксплуатации ВС, а также увеличение их размеров способствует снижению безопасности. Посадка в первую очередь является рискованным этапом полета. Отмечается рост число аварий по причине отсутствия оперативного дистанционного механизма контроля и учета факторов изменения параметров окружающей среды. Среди них наибольшее значение имеют группы, связанные со: сдвигом воздушного потока и турбулентности следа, в трех плоскостях, поверхностного скольжения и обледенения, а также эффективностью средств технического зрения: радио, звукового, лазерного оборудования, камер наблюдения, измерителей скорости, высоты и их производных, а также устойчивостью и управляемостью движения центра масс ВС.

В исследованиях последнего времени упор делается на выбор инструментальных методов обнаружения изменения параметров воздушных потоков одного ВС для следующего за ним другого судна, а также естественных

процессов в приповерхностном слое над ВПП. Известны наземные и бортовые средства обеспечения вихревой безопасности ВС [1, с. 95].

Наиболее востребованы бортовые средства мониторинга. Однако радары и лидары обладают рядом ограничений по надежности обнаружению вихревых образований на требуемом расстоянии и не могут быть использованы как основное средство информирования экипажа ВС о вихревой опасности [1, с. 90]. Метод измерения давления бортовым оборудованием обладает оперативностью, точностью но не упреждает, т.к. соответствует нахождению ВС в точке измерения [2, с. 8]. Прогнозирование могло бы способствовать решению задачи при дистанционном измерении параметров объектов и среды в системе: первое и второе ВС, трасса между ними и окружающее их пространство, прежде всего с подветренной стороны, изменения которых могут оказывать системное влияние на безопасность ВС на этапе посадки.

Основная часть

Анализ состояния вопроса

Состав автоматизированной системы управления (АСУ) аэродрома включает технические средства, анализ и предлагаемый вариант приведены в таблице 1 [1, с. 156].

В табл. 1 не указаны другие элементы АСУ, которые не так влияют на вихревую безопасность при посадке ВС.

Таблица 1

Состав АСУ полетами, навигации, посадки и связи аэродрома [3, стр. 72 -73]

№	Состав	Назначение	Недостатки	Предлагаемый вариант
1	Комплекс средств руководства полетами	Сбор и распределение информации для организации воздушного движения при требуемом уровне безопасности	Отсутствует полная связанность элементов системы по расширенному составу параметров	Полная связанность наземных и бортовых подсистем воздушных судов в районе ВПП
2	Радиолокационное оборудование	первичный, вторичный, посадочный каналы и госопознавания	Зона мониторинга не обеспечивает полный обзор по горизонтальной и вертикальной плоскостям. Не в полной мере соответствует принципам РЭБ	Размещение антенных систем по периметру корпуса и крыльях для устранения мертвых зон обзора. Внедрение РЭО обеспечивающего пространственно распределенный скрытый режим мониторинга с обоснованным применением активного режима для обнаружения, распознавания, опознавания, обзора, маскирования и подавления
3	Радиотехническая подсистема ближней навигации	Ближняя навигация	Ограниченность количества линий связи взаимного информационного обмена	Реализации полной связанности системы для повышения точности при минимально необходимых затратах
4	Глобальное навигационное оборудование (ГНО)	Определение координат и параметров движения	Низкая помехоустойчивость	Не реализован режим совместного пространственного наблюдения с привязкой точек к соответствующим ГНО

Окончание таблицы 1

№	Состав	Назначение	Недостатки	Предлагаемый вариант
5	Подсистема широкополосной связи		Не обеспечена защитой от внешних вредоносных воздействий	Требуется: – увеличение пропускной способности каналов; – сокращение времени реакции системы; – увеличение помехозащищенности и др.
6	Автоматические радиопеленгаторы	решение задач ориентации ВС	Требуется повышения точности и адаптация к условиям канала	Применение методов управления масштабом аргумента решающей функции
7	Инструментальные системы посадки	принятия экипажем обоснованных решения о посадке	Требуется повышение точности и адаптация работы каналов к меняющимся условиям	Адаптация под характеристики радиоканала
8	Оборудование беспроводной линии обмена данными	обмена данными между наземными элементами АСУ с ВС	Не обеспечена технологиями РЭБ	Требуется автоматический обмен данными в режиме запрос-ответ и приведение к современным требованиям по: – увеличение пропускной способности каналов; – сокращение времени реакции системы; – увеличение помехозащищенности и др.

Анализ табл. 1 показал необходимость изменение структуры автоматизированной системы управления организацией воздушного движения в аэропорту и решение задач в инфокоммуникационной области, прежде всего таких, как увеличение пропускной способности каналов; сокращение времени реакции системы; увеличение помехозащищенности и др. Требуется решение данных проблем не за счет расширения частотного диапазона, а за счет увеличения многоканальности и помехоустойчивости

Состав бортового оборудования для информационного обеспечения безопасной посадки приведен в табл. 2 [1, с. 156].

Из табл. 2 видно, что состав бортового оборудования для информационного обеспечения безопасной посадки не лишен основного недостатка, вытекают из отсутствия полной связанности структуры и недостаточного использования потенциально доступной, но не контролируемой большей части оперативной информации. Получение которой потенциально возможно путем использования технологий пространственно распределенных компонентами АСУ. Это связано со следующими ограничениями используемых технологий. Доплеровские каналы измерения величины сдвига среды не обладают требуемой точностью и надежностью, т. к. и сам радар под воздействием помех от местных предметов в условиях сильной отражательной способности среды не позволяет решить задачу с заданными характеристиками.

Бортовой лидар, как показала эксплуатация, не гарантирует требуемого уровня надежности радиоэлектронного оборудования (РЭО) [1, с. 90].

Проблема состоит в отставании развития РЭО для обеспечения эффективности использования ВПП при вихревой безопасности заданного уровня. Предметом — является информационная автоматизированная система обеспечения эффективности использования ВПП при вихревой безопасности заданного уровня.

Объектом исследования являются методы РЭО ВС в районе ВПП аэродрома.

Целью работы является повышения эффективности использования ВПП за счет повышения безопасности путем расширения измеряемых параметров объектов и окружающей их среды, с их помощью оценки степени угрозы и поддержки принятия решений командиром ВС или диспетчером или системой автоматического управления (управляющих ВС), что особенно важно для беспилотных ВС.

В работе приведена характеристика и предложения по изменению структуры АСУ, рассмотрены критерии оптимизации. В работе рассматривается задача управления функционированием расширенной структуры системы для повышения эффективности за счет согласованных по времени и задачам информационного мониторинга параметров среды и ВС в районе ВПП аэропорта.

Актуальность заключается в отсутствии дистанционно измеряемой, оперативной и достоверной информации о динамике системы ВС и окружающей среды достаточной для принятия обоснованных автоматических решений.

Разработка алгоритма поддержки командных решений управляющего ВС во взаимодействии с диспетчером и интеллектуальным центром комплекса обеспечит своевременное обнаружение признаком предаварийной



Таблица 2

Состав бортового оборудования для информационного обеспечения безопасной посадки

№	Состав оборудования	Назначение			
1	Центральная вычислительная система	комплексной обработки метеоинформации			
2	Измерительные преобразователи метеозащитных элементов:	Профиля ветра с помощью датчика Пито статического давления, путевую скорость и инерциальной навигационной аппаратуры	Температура с помощью термометра	Турбулентность с использованием алгоритмического обеспечения	Обнаружение льда
		Радар	Лидар	Сонар	Изображения траектории ВС
		обнаружения следов	предупреждения о входе в след	отображения следов	предотвращения входа в след
3	Средства передачи метеоинформации с использованием технологии АЗН-В	Позволяющие экипажу и диспетчеру получать в реальном масштабе времени аэронавигационную и погодную информацию			
4	Параметры движения ВС	Барометрическая высота	Приборная и истинная скорость	Уровень вибрации корпуса	
5	Система мониторинга состояния полета и авиационные бортовые приборы	Пилотажно-навигационные	Указатели пространственного положения	Плановый навигационный прибор	Навигационные системы и автоматы
		Инерциальные под системы	Подсистема обработки и индикации пилотажных данных	Подсистема контроля работы двигателей	Сигнализационные устройства

ситуации и оценки степени угрозы ВС с выработкой рекомендации для уклонения и контроля за исполнением с возможностью коррекции управленческих решений.

Обмен и протоколирование информации по ситуации, принятым и реализованным решениям и результатам выхода из критической положения для формирования базы данных и рекомендаций для типовых эпизодов условий посадки ВС применительно к конкретной ВПП (паспорту ВПП), времени суток, сезона и характеристик окружающей среды.

Мониторинг окружающей обстановкой включает информацию, получаемую с борта данного ВС, предыдущего ВС и ВС, осуществляющих наблюдение за эволюцией над и в районе ВПП, а также от РЭО аэродромного комплекса.

Требования к АСУ

Анализ функций, задач, условий и ограничений для бортового оборудования ВС и аэродромного комплекса показал необходимость повышения значимости критериев:

- время реакции ВС динамики от обнаружения, измерения, оценки степени угрозы до момента начала эволюции реагирования;

- пропускная способность радиоканалов, действующих в условиях множества одновременно работающих информационных каналов мониторинга среды, объектов и обмена информацией [4, с. 49];

- помехоустойчивость и помехозащищенность от естественных и преднамеренных помех;

- точностные характеристики обнаружения и распознавания объектов, явлений и их меняющихся параметров;

- повышение точности измерения параметров исследуемого объекта путем применения многопозиционной радиолокационных станций [5, с. 18];

- высокая степень значимости ошибочных решений по обнаружению и измерению, устраняемая за счет пространственно распределенных комплексов мониторинга пространства, примеры реализации станций обнаружения и полной связанности каналов информационного обмена между ними приведены в патентах [6 и 7];

- информационное обеспечение по распознаванию предаварийной ситуации эволюции ВС и выработки вариантов управленческих решений лицу их принимающему;

- согласованность РЭО ВС и наземного оборудования;

- применение, с учетом новейших технологий широкополосного доступа [8, с. 4; 9, с. 4], нормативной и другой документации по техническим требованиям к системе с расширенными элементами. Связями и функциями элементов нескольких ВСВС, пространственно маневрирующих в зоне района аэродрома и ВПП;
- автоматический информационный обмен между ВС, следующих друг за другом и другими ВС, находящимися в районе ВПП [1, с. 90–91].

Предложения по изменению структуры

В работе предложена структура и математическая модель работы АСУ, уточнены параметры, средства и методика расчета рекомендуемых вариантов: курса, скорости и ускорения по вертикали и горизонтали, дистанции и ориентации относительно оси ВПП, впереди и сзади идущих ВС. Структура АСУ организации воздушного движения в районе ВПП приведена на рис. 1 и включает номера из табл. 1 и номера внутри структуры воздушных судов в скобках из табл. 2.

Среда становится менее предсказуемой и усиливается влияние больших массогабаритных характеристик ВС на систему их взаимодействия для достижения поставленной цели — надежность, безаварийность, эффективность и ВС и ВПП аэродрома. Для этого требуется не только бортовое оборудование, но и разнесенная система РЭО и АСУ для достижения поставленной цели [2, с. 4]. К таким параметрам среды и ВС относятся:

- трехмерные поля скорости среды и их производные;

- вихревые дорожки;
- параметры, структура и характеристики аномалий вихревых и сдвиговых явлений в пространстве у глссады и ВПП;
- динамика изменения режима посадки;
- устойчивость выполнения траектории посадки
- дистанция обнаружения опасных атмосферных явлений и численная оценка степени угрозы для ВС и ВПП с данными параметрами и динамикой движения элементов системы;
- время, оставшееся до начала планируемых и рекомендованных изменений параметров движения с целью уклонения от угроз.

Что обусловлено следующими факторами:

- ВС пространственно маневрирующих в зоне района аэродрома и ВПП способны получать требуемую для безопасной посадки ВС информацию за счет расширения точек наблюдения;
- существующие методы и средства обеспечения ВС и ВПП не успевают проходить модернизацию для соответствия требованиям практики. Парк ВС быстро изменяется, а РЭО ВС и ВПП изменяются медленно с учетом согласования с ИКАО и не учитывают современные требования быстро изменяющихся условий, ограничений и агрессивности природных явлений;
- реализуемые технические, организационные и иные технологии в не полной мере соответствуют требованиям дистанционного, оперативного, точного, упреждающего, адекватного ситуации контроля параметров

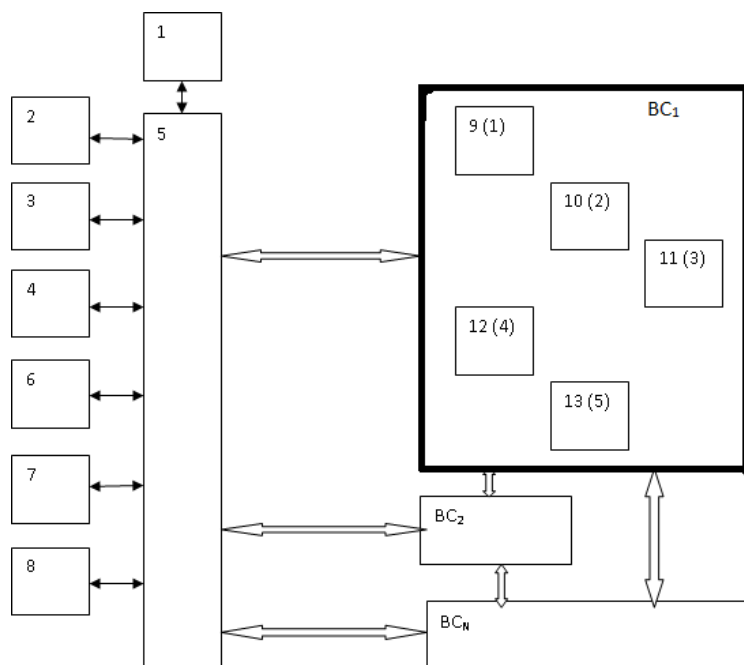


Рис.1. Структура АСУ организации воздушного движения в районе ВПП



элементов системы с резервом времени для принятия и реализации управленческих решений.

Предлагается рассмотреть основные причины несоответствия существующих технологий в АСУ ОВД современным требованиям по повышению безопасности от вихревых образований и сдвигов ветра [3, с. 18] и возможные варианты их устранения:

1. Высокая масштабность сопутствующих проблем, отсутствие финансирования свежих инновационных решений и технологий, слабое инженерное сопровождение проблемы с изменением концепции построения РЭО ВС, как информационного элемента АСУ, а также РЭО аэродрома в составе пространственно распределенной адаптивно реконфигурируемой системы управления воздушным движением и согласования с ИКАО.

Для снижения влияния данного фактора предлагается изменение структуры АСУ организацией воздушного движения в аэропорту до полной связанности и включение в состав РЭО воздушных судов в районе аэропорта, способных к измерению вихревых следов со стороны, позволяющей получить в отраженном сигнале доплеровское преобразование с радиального, а не тангенсального направления;

2. Штатное РЭО не позволяет достоверно обнаруживать вихри и нарастание сдвигов ветра, обладающие слабой отражающей способностью в условиях отсутствия адаптации к помехам от местных предметов. Для снижения влияния данного фактора предлагается отраженные сигналы рассматривать в области частотного спектра, в котором устойчиво наблюдаются эффекты расширения спектра, уменьшения времени раскорреляции, что позволяет произвести обнаружение и измерение формы и уровней пространственного эхо-портрета. Для этого внедрить в каналы радиомониторинга сигналы с большой базой и повышенными помехозащищенностью и помехоустойчивостью [7, с. 38]. При этом использовать пространственное размещение ВСВС в районе ВПП для мониторинга и измерения параметров вихревых образований с радиальных направлений. Для этого воздушные суда ожидания в районе ВПП перемещаются по траекториям совпадающим с направлением садящегося ВС на глиссаде как показано на рис. 2 для увеличения времени наблюдения;

3. Изменчивость радиоканала и высокий уровень отражения от среды и местных предметов не позволяют получить требуемые характеристики по измерению параметров вихревых образований и ВС генератора вихрей для определения порога для принятия решения для ухода на второй круг. Применение тестирования канала в реальном масштабе времени позволит адекватно угрозе формировать порог при заданном уровне безопасности и требуемых ресурсов [8, с. 9];

4. В не полной мере учитываются индивидуальные характеристики ВС, ВПП, экипажа и диспетчерской служ-

бы. Для снижения влияния данного фактора предлагается повысить требования по объему, скорости обмена и допустимой задержки на запросы информационного обмена всех участников воздушного движения. Для этого предлагается использовать технологию обмена информацией с использованием широкополосных сигналов [9, с. 4];

5. АСУ, как информационная система, подвержена внешним деструктивным воздействиям. Для снижения влияния данного фактора предлагается применение скрытных, разведзащищенных каналов связи [9, с. 12], а также применение антивирусных и блокчейн технологии [10, с. 4];

6. Сдвиг ветра характеризуется быстрой изменчивостью по скорости и направлению. Особенно опасны сдвиги в вертикальной и боковой плоскости, а также в попутном направлении. Для снижения влияния данного фактора предлагается дистанционное оперативное измерение потоков воздушных масс с применением корреляционного метода определения скорости впереди по курсу ВС с последовательным параллельным формированием плоскостей по высоте и дальности прилегающего пространства [11, с. 3]. Эффективность применения данного способа может быть усилена за счет использования технологии селекции отраженных сигналов в пространстве «дальность-скорость», приведенные в патенте высокоточного измерения скорости с селекцией по дальности и направлению [12, с. 20], что соответствует структуре измеряемых параметров поля скорости в следе впереди садящегося ВС.

7. Для повышения эффективности радиоэлектронного наблюдения и измерения параметров внешней среды, оказывающих значительное влияние на безопасность воздушного движения, ВС должны быть оснащены разветвленной структурой широкополосных антенн: в носовой части, по бортам, на крыльях, киле и в кормовой части. По бортам фюзеляжа для обнаружения вихревых образований при движении ВС параллельно проекции в вертикаль-

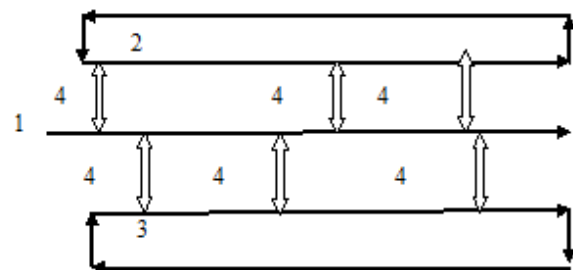


Рис 2. Порядок взаимодействия ВС ожидания по отношению к среде впереди ВС на этапе посадки по глиссаде в вертикальной проекции, где обозначены: 1 — глиссада; 2 — маневрирование ВСВС ожидания с лева и справа от глиссады соответственно; 4 — направление радиолокационного измерения РЭО ВС параметров вихревых образований впереди ВС на этапе посадки

ной плоскости глissады. На крыльях в передней и задней полусферах, совместно со штатной носовой антенной решеткой для повышения разрешающей способности измерения величины бокового и вертикального сдвигов ветра

Для поиска вариантов внедрения технологий для широкого круга задач требуется расширение рамок участников решения указанных проблем.

Известны методы контроля воздушного пространства, основанные на:

- оценке интенсивности отражения наземного радара и лидара;
- эхо-сигналы бортового радара;
- измерение изменения уровня давления на участке над ВПП;
- оптические сканеры подсвеченной вихревой дорожки и др.

Однако существующие методы не гарантируют требуемую работоспособность в любую погоду по обнаружению опасных внешних явлений и оценки степени их влияния на безопасности ВС, особенно при посадке. Для определения требований к оценке при посадке физических полей самого ВС и его окружающего пространства была расширена модель информационного взаимодействия элементов АСУ и разработаны требования к РЭО получения и обмена информации.

Предложено использовать информацию с нескольких, как независимых, так совместных (в условиях полукративного, параметрических и режимов подсветки) каналов для получения комплексного представления о ситуации на глissаде и её окрестности для ВС и выработки рекомендаций управляющему ВС, например командиру судна. Алгоритм поддержки управленческих решений АСУ

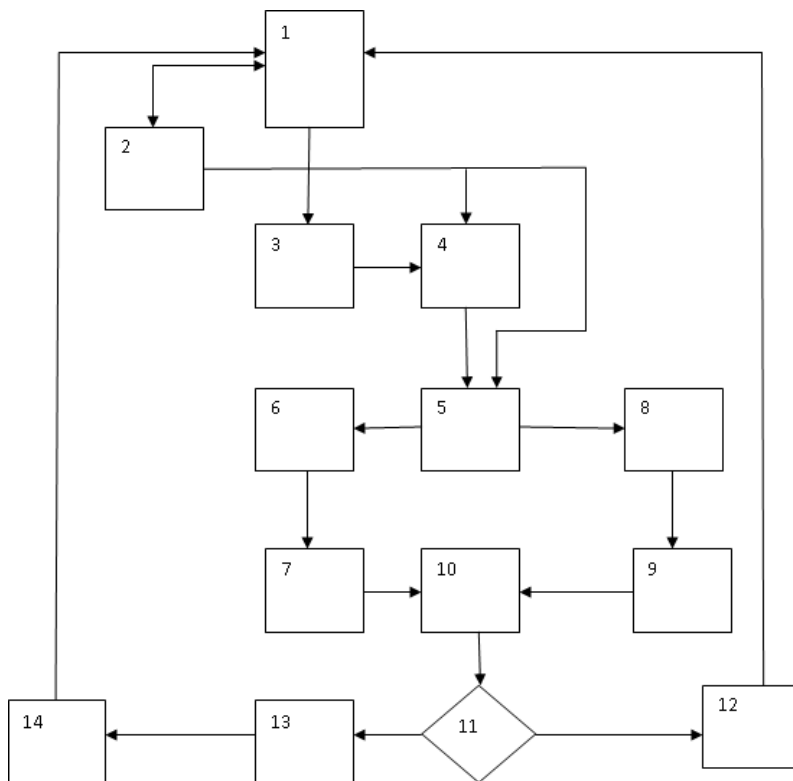


Рис. 3. Алгоритм поддержки управленческих решений АСУ движением ВСВС при условии только посадки ВС друг за другом, где обозначены:

- 1 — штатный режим работы АСУ; 2 — база данных; 3 — прогноз вихревой безопасности в районе ВПП; 4 — формирование эпизода посадки i и j ВС на ВПП с участием ВС ожидания; 5 — формирование математической модели выделенного эпизода с построением информационных потоков с участием наземных средств измерения и ВС; 6 — формирование заданий элементам системы для мониторинга вихревых образований в районе глissады; 7 — сбор и анализ информации от элементов расширенной структуры системы по заданиям п. 7; 8 — формирование заданий элементам системы для мониторинга поля скорости ветра в районе глissады; 9 — сбор и анализ информации от элементов расширенной структуры системы по заданиям п.8; 10 — комплексная оценка степени угрозы ВС, выполняющих посадку, прогнозирование пороговых значений для принятия решения по изменению режима посадки; 11 — проверка условия превышения порога для конкретного ВС; 12 — в случае отсутствия превышения продолжение выполнения посадки в штатном режиме; 13 — принятие решения на выход из режима посадки с уходом в район ожидания; 14 — корректура плана штатного режима



движением ВСВС при посадке на ВПП приведен на рис. 3 (при условии только посадки ВС друг за другом).

Как видно расширение функций и структуры АСУ и соответствующие изменения алгоритма её работы позволяют повысить эффективность по измерению параметров опасных явлений, оценить степень угрозы для ВС и принять обоснованное решение на посадку или уход на второй круг. Научная новизна заключается в:

1. Предложении по изменению структуры АСУ с включением в состав РЭО воздушных судов и беспилотных летательных аппаратов, находящихся в районе глиссады и ВПП, новых информационных связей элементов АСУ с использованием помехоустойчивых инфокоммуникационных средств с применением широкополосных сигналов, а также технологии измерения параметров характеризующего степень опасности явлений:

– вихревых образований путем измерения интервала раскорреляции и расширения спектра отраженных сигналов с помощью радаров ВС, находящихся в воздухе в районе ВПП аэродрома в ожидании очереди на посадку и осуществляющих информационный обмен с элементами АСУ;

– опасных сдвигов ветра по максимуму взаимнокорреляционной функции отраженных сигналов по горизонтальным и вертикальным разрезам с помощью радара ВС выполняющего посадку, а также интегрирование информационных ресурсов с наземной инфраструктурой и РЭО;

2. Рекомендации по привлечению дополнительных ВС для измерения уровня отраженных сигналов от опасных вихревых образований с учетом особенностей трансформации сигнала для этапов излучения РЭО, распространения, отражения, обратного распространения и приема бортовым РЭО воздушными судами, находящимися в пространственном положении относительно вихревых образований в районе глиссады в диапазоне углов 45° – 135° относительно вектора посадки с обеих сторон глиссады;

3. Расширении алгоритмов поддержки управленческих решений АСУ безопасностью организации воздушного движения в условиях угроз от воздействия внешней среды.

Заключение

В работе приведено обоснование необходимости изменения структуры и функций АСУ воздушным движением при посадке воздушного судна, основанной на результатах измерения параметров окружающей среды, в первую очередь сдвига ветра и вихревых процессов с применением радаров дистанционного зондирования

как с борта воздушного судна на глиссаде, так других воздушных судов в районе аэропорта, а также с земли и их комплексного использования. Результаты работы позволят создать предпосылки для разработки методов и средств повышения эффективности использования ВС и ВПП при заданном уровне безопасности воздушного движения, за счет увеличения измеряемых параметров для надежной оценки степени угрозы и алгоритмов принятия решений управляющего посадкой -ВС.

Литература

1. Бабкин В.И., Белоцерковский А.С., Турчак Л.И. и др. Системы обеспечения вихревой безопасности полетов летательных аппаратов / отв. ред. Л.И. Турчак; ВЦ им. А.А. Дородницына РАН. М.: Наука 2008. 373 с.
2. Патент РФ № 2477893 Способ обеспечения вихревой безопасности полета летательного аппарата / Фальков Э.Я. и др. Заявл. 30.09.2011, Оpubл. 20.03.2013.
3. Черняков М.В., Столяров Г.В. Перспективы развития АСУ полетами, навигации, посадки и связи государственной авиации // Научный вестник МГТУ ГА Серия Радиофизика и радиотехника. 2010. № 152. С. 72–79.
4. Мочалов А.В., Павликов С.Н., Убанкин Е.И. Новые направления в развитии телекоммуникационных систем: монография. Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2016. 116 с.
5. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация. М.: Радио и связь. 1993. 416 с.
6. Патент РФ № 68710 Радиолокационный комплекс для обнаружения и сопровождения объектов / Павликов С.Н. и др. Заявл. 14.08.2007. Оpubл. 27.11.2007. БИ № 33.
7. Патент РФ № 67289 Радиолокационный комплекс для обнаружения и сопровождения объектов / Павликов С.Н. и др. Заявл. 29.05.2007. Оpubл. 10.10.2007. БИ № 33.
8. Патент РФ № 2713750 Способ когерентного разнесенного обмена информацией / Павликов С.Н., Убанкин Е.И. и др. Заявл. 26.07.2019. Оpubл. 07.02.2020. БИ № 4.
9. Патент РФ № 2713384 Способ передачи информации с помощью широкополосных сигналов / Павликов С.Н., Убанкин Е.И. и др. Заявл. 29.11.2018. Оpubл. 05.02.2020. БИ № 4.
10. Патент РФ № 179369 Система адаптивного управления пакетом антивирусных сканеров / Павликов С.Н., и др. Заявл. 21.08.2017. Оpubл. 11.05.2018, БИ № 14.
11. Авторское свидетельство SU № 1296943 Способ гидролокационного измерения профиля скорости течения водного бассейна / Стефанов С.Р. и др. Заявл. 16.04.1985. Оpubл. 15.03.1987. Бюл. № 10.
12. Павликов С.Н., Убанкин Е.И. Метод совместного измерения дальности и относительной радиальной скорости цели за один цикл «Излучение-прием» // Телекоммуникации и транспорт. 2014. № 4. С. 18–21.



CHANGING THE STRUCTURE OF THE AUTOMATED AIR TRAFFIC CONTROL SYSTEM AT THE AIRPORT

EVGENY I. UBANKIN

Vladivostok, Russia, uei@inbox.ru

SERGEY N. PAVLIKOV

Vladivostok, Russia, psn1953@mail.ru

MAXIM U. CHERNOVOL

Vladivostok, Russia, kittihokk@mail.ru

EVGENIA A. SIMAREVA

Vladivostok, Russia, fogetmenots@mail.ru

KEYWORDS: aircraft; wind shear; radar; speed; range.

ABSTRACT

The work is carried out on an up-to-date topic and is devoted to the research of methods to improve safety when landing an aircraft (VS) in conditions of vortex danger and variability of wind speed fields. The main task of the study is to find a new set of signs of remote control of the environment and to form the structure of an automated air traffic control system when landing at the airport. The structure, the list of tasks and methods of intelligent monitoring and analysis of data have been expanded in order to effectively detect anomalies that threaten the safety of the Armed Forces and other objects in the runway area.) The problem is the lag behind the development of electronic equipment (REOs) to ensure the efficiency of the use of runway while maintaining and increasing the level of safety of the armed forces during landing. The subject is an information automated system to provide and control the required level of air traffic safety. The object of the study is the methods of the REO of the Armed Forces in the area of the runway of the airfield. The aim of the work is to improve the efficiency of the runway by improving safety by applying the extended space of measurable parameters to the airborne vehicles in anticipation of landing, assessing the threat of the armed forces on the glissad and intelligent support for the control of the armed forces, which is especially important for unmanned air. The work provides a characteristic and proposals to change the structure of the ASU, considered the criteria for optimization. The work examines the task of managing the operation of the expanded structure of the system to improve efficiency through the time and tasks of information monitoring of the environment and the Armed Forces in the airport runway area. Relevance lies in the lack of remotely measurable, prompt and reliable information about the dynamics of the Armed Forces system and the environment sufficient to make informed automatic decisions.

REFERENCES

1. Babkin V.I., Belozerkovsky A.S., Turchak L.I. and etc. *Systems for ensuring the vortex safety of aircraft flights* [Systems to ensure the vortex safety of aircraft flights]. By eds. Holes. Ed. L.I. Turchak. Moscow: Nauka, 2008. 373 p. (In Rus)
2. Patent RF No. 2477893 The way to ensure the vortex safety of the aircraft' flight. Falkov E.Y. et al. Declared 30.09.2011. Published 20.03.2013. (In Rus)
3. Chernyakov M.V., Stolyarov G.V. Prospects for the development of ASU flights, navigation, landing and communication of state aviation. *Scientific Gazette of the Moscow State University GA Radiophysics series and radio equipment*. 2010. No. 152. Pp. 72-79. (In Rus)
4. Mochalov A.V., Pavlikov S.N., Ubankin E.I. *New directions in the development of telecommunications systems* [New directions in the development of telecommunications systems: monograph]. Vladivostok: VSUES, 2016. 116 p. (In Rus)
5. Cherniak V.S. *Multi-position radar* [Multiposition radar]. Moscow: Radio and communication. 1993. 416 p. (In Rus)
6. Patent RF No. 68710 Radar Complex for detection and maintenance of objects. Pavlikov S.N., etc. Declared 14.08.2007. Published 27.11.2007. No. 33. (In Rus)
7. Patent RF No. 67289 Radar Complex for detection and maintenance of objects. Pavlikov S.N., etc. Declared May 29, 2007. Published 10.10.2007. No. 33. (In Rus)
8. Patent RF No. 2713750 The way of coherent exchange of information. Pavlikov S.N., Ubankin E.I. Et al. Declared 26.07.2019. Published 07.02.2020. No. 4. (In Rus)
9. Patent RF No. 2713384 The way information is transmitted by broadband signals. Pavlikov S.N., Ubankin E.I. Et al. Declared 29.11.2018. Published 05.02.2020. No. 4. (In Rus)
10. Patent RF No. 179369 Adaptive Control System of the package



of antivirus scanners. Pavlikov S.N., etc. Declared 21.08.2017. Published 11.05.2018. No. 14. (In Rus)

11. Image copyright SU No. 1296943 A way of sonar measurement of the water basin speed profile. Stefanov S.R. Et al. Declared 16.04.1985. Published 15.03.1987. No. 10. (In Rus)

12. Pavlikov S.N., Ubankin E.I. Method of joint measurement of range and relative radial speed of the target for one cycle "Radiation reception". *Telecommunications and transport*. 2014. No. 4. Pp. 18-21. (In Rus)

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Ubankin E.I., PhD, Associate Professor, Professor of the Far Eastern Federal University;

Pavlikov S.N., PhD, Professor of Information Technology and Systems, Vladivostok State University of Economics and Service;

Chernovol M.U., postgraduate student of the Vladivostok State University of Economics and Service;

Simareva E.A., postgraduate student of the Admiral Nevelskoy Maritime State University.

For citation: Ubankin E.I., Pavlikov S.N., Chernovol M.U., Simareva E.A. Changing the structure of the automated air traffic control system at the airport. *H&ES Research*. 2020. Vol. 12. No. 5. Pp. 36-45. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-5-36-45 (In Rus)



НПЦ ИРС

Научно-производственный центр
Информационных региональных систем

▶ npcirs.ru

Закрытое акционерное общество "Научно-производственный центр информационных региональных систем" является предприятием, разрабатывающим автоматизированные системы специального назначения.

Основными направлениями нашей деятельности являются:

- проектирование, создание и ремонт автоматизированных систем управления и их составных частей, систем обработки данных, программного обеспечения, информационных систем для государственных организаций и коммерческих компаний;
- разработка общесистемного и прикладного ПО, внедрение и сопровождение информационных систем;
- защита информации в системах управления, локальных вычислительных сетях, программно-аппаратных комплексах, телекоммуникационных системах;
- производство и поставка технических средств, в офисном и защищенном исполнении;
- создание, внедрение и сопровождение оперативных и учетных систем любой сложности;
- анализ автоматизированных систем на предмет разработки к ним классификаторов и нормативно-справочной информации;
- разработка проектов и создание глобальных, корпоративных, локальных телекоммуникационных систем и структурированных кабельных сетей.

Создаваемые предприятием средства (комплексы средств автоматизации, программные и программно-информационные комплексы, информационные изделия) эксплуатируются в различных государственных органах: в органах военного управления Министерства обороны РФ, а также на предприятиях, в организациях, в органах местного самоуправления субъектов РФ, занимающихся воинским учетом.

Научные исследования в сфере КНСИ позволяют нам качественно анализировать автоматизированные системы и разрабатывать к ним классификаторы и нормативно-справочную информацию.



НПЦ ИРС

Научно-производственный центр
Информационных региональных систем

▶ npcirs.ru

Телефон: 8(800)100-40-90
E-mail: administrator@npcirs.ru



doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-5-46-52

УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СПОРТИВНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

КАРПОВ

Михаил Андреевич¹

МИХАИЛ

Иван Иванович²

РАКИЦКИЙ

Станислав Николаевич³

ДАНИЛОВА

Елена Ивановна⁴

АННОТАЦИЯ

Кибернетическое противоборство знаменует собой новый уровень противостояния. Насущным требованием времени, становится пересмотр принципов построения к управлению системой безопасности информационного обеспечения спортивных мероприятий методом прогнозирования, реализуемого искусственной нейронной сетью. Для управления системой информационного обеспечения безопасности информационно-телекоммуникационной сети необходимо применять высокоэффективные методы мониторинга и контроля состояния сети непосредственно в режиме реального времени. Основой этих методов должны быть данные от инструментов анализа и прогнозирования состояния рубежей контроля и всей системы в целом. Наиболее подходящим инструментом для прогнозирования являются искусственные нейронные сети. Нейронная сеть представляет собой высокопараллельную динамическую систему с топологией направленного графа, которая может получать выходную информацию посредством реакции её состояния на входные воздействия. Искусственные нейронные сети по своей сути являются формальным аппаратом описания ключевого алгоритма решения задачи прогнозирования состояния системы обеспечения безопасности информационно-телекоммуникационной сети по характерным временным сечениям. Благодаря своей обучаемости искусственные нейронные сети способны принимать решения, соответствующие динамичной смене состояний, что характерно для таких сложных систем, как система обеспечения безопасности информационно-телекоммуникационной сети. Тем самым обоснованы основные тенденции перспективного развития структуры систем защиты инфотелекоммуникационных систем. Даны рекомендации по возможности использования прогностической функции искусственной нейронной сети, подробно описана функциональная схема искусственной нейронной сети Хэмминга, рассмотрены ее преимущества относительно других нейронных сетей и представлен алгоритм функционирования.

Сведения об авторах:

¹адъюнкт Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург, Россия, karpuh.djan@mail.ru

²к.п.н., доцент, начальник кафедры Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург, Россия, nemo4ka74@gmail.com

³к.в.н., доцент, доцент Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург, Россия, s15136@mail.ru

⁴преподаватель Военно-морского политехнического института, г. Пушкин, Россия, danilova-ei@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: искусственная нейронная сеть; информационно-телекоммуникационная сеть; система обеспечения; управление.

Для цитирования: Карпов М.А., Михаил И.И., Ракицкий С.Н., Данилова Е.И. Управление системой безопасности информационного обеспечения спортивных мероприятий на основе алгоритмов функционирования искусственной нейронной сети // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 5. С. 46-52. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-5-46-52



Введение

Для управления системой обеспечения безопасности информационного обеспечения спортивных мероприятий при использовании инфотелекоммуникационной сети (ИТКС) необходимо применять высокоэффективные методы мониторинга и контроля состояния сети непосредственно в режиме реального времени. Основой этих методов должны быть данные от инструментов анализа и прогнозирования состояния рубежей контроля и всей системы в целом [1].

Наиболее подходящим инструментом для прогнозирования являются искусственные нейронные сети (ИНС). Нейронная сеть представляет собой высокопараллельную динамическую систему с топологией направленного графа, которая может получать выходную информацию посредством реакции её состояния на входные воздействия. ИНС по своей сути являются формальным аппаратом описания ключевого алгоритма решения задачи прогнозирования состояния системы обеспечения безопасности ИТКС по характерным временным сечениям [2]. Благодаря своей обучаемости ИНС способны принимать решения, соответствующие динамичной смене состояний, что характерно для таких сложных систем, как система обеспечения безопасности ИТКС. В данном контексте нецелесообразно использовать прогностические методы, основанные на статистических данных. Отличительной характеристикой ИНС является то, что в них используются как запрограммированные последовательности работы, так и способности выполнять анализ потоковой информации, выявлять закономерности, обучаться, адаптироваться, осуществлять поддержку принятия решений [3].

Основная часть

Рассмотрим формулировку постановочной части и главные принципы проведения вычислений при решении такого рода задач. Система обеспечения безопасности ИТКС состоит из совокупности узлов контроля и управляющей подсистемы, при том, что необходимо обеспечение связности не только от узла до управляющей подсистемы, но и между самими узлами контроля. Допустим, что для группы независимых узлов системы обеспечения безопасности ИТКС (с известным расстоянием до управляющей подсистемы и между ними) требуется найти оптимальный маршрут связности. Узлы обозначим буквенными значениями A, B, C, D, E а расстояния между ними d_{AB}, d_{BC}, d_{AC} , то есть упорядоченное по заданному правилу множество состоящее из n узлов. В матрице размера $n \times n$ строки соответствуют узлам контроля, а столбцы номерам узлов заданной последовательности. Таким образом, для пяти узлов контроля системы обеспечения безопасности ИТКС A, B, C, D, E последовательность обхода будет задана матрицей (2), где A (узел управляющей подсистемы) под-

ключается первым, узел C (произвольный узел контроля рубежа защиты) — вторым, узел E — третьим и т.д. Длина маршрута связности узлов соответствует выражение (1):

$$d_{AC} + d_{CE} + d_{BD} + d_{DA} \quad (1)$$

Допускаем, что все узлы в системе равновесны.

	1	2	3	4	5	
A	1	0	0	0	0	
B	0	0	0	1	0	(2)
C	0	1	0	0	0	
D	0	0	0	0	1	
E	0	0	1	0	0	

В каждой строчке и в каждом столбце матрицы (2) есть только одно единственное значение 1, потому что это соответствует каждому отдельному моменту подключения узла (событию связности), то есть в отдельно взятый временной отсчёт узел подключается один раз. Таким образом матрица (2), которая описывает состояние искусственной нейронной сети, состоящей из n^2 нейронов, задаёт задачу, в которой из $\frac{n!}{2^n}$ маршрутов необходимо выбрать один оптимальный. Состояние отдельного нейрона ИНС описывается двойным индексом, который соответствует узлу и порядковому номеру очередности его подключения в системе. Например, $M_{xj} = 1$ показывает, что узел x был j -м по порядку узлом маршрута.

Для решения задачи оптимальной маршрутизации сформулируем функцию вычислительной энергии для системы обеспечения безопасности ИТКС:

$$E = -\frac{1}{2} \sum_i \sum_j w_{ij} Y_i Y_j - \sum_j I_j Y_j + \sum_j T_j Y_j \quad (3)$$

где E — вычислительная энергия системы; w_{ij} — вес показателя от выхода нейрона i на вход нейрона j ; Y_i — выход нейрона i ; I_i — внешний вход нейрона i ; T_i — порог нейрона i . Тем самым в (3) определено, что состояние системы с самым наименьшим уровнем энергии соответствует оптимальному маршруту. В таком случае, найдём изменение энергии системы, которое вызвано изменением состояния i -го нейрона:

$$\delta E = \left(\sum_{i \neq j} (m_{ij} Y_j) + I_j - T_j \right) \delta Y_j \quad (4)$$

где δY_j — изменения показателя на выходе i -го нейрона.

Каждому дискретному состоянию системы соответствует определённая величина вычислительной энергии системы, тем более, что устойчивое состояние характери-

зуются меньшими затратами энергии, чем неустойчивое. Развитие системы во времени — это смена состояний в поиске оптимума, другими словами, сведению энергозатрат к минимуму и фиксация в данной точке. Система должна удовлетворять следующим требованиям:

- состояния системы должны соответствовать матрице (2);
- решение задачи минимизации вычислительной энергии системы должно сводиться к оптимальной маршрутизации связности элементов.

Этим требованиям отвечает функция энергии вида:

$$E = -\frac{A}{2} \sum_x \sum_i \sum_{i \neq j} Y_{xi} Y_{xj} + \frac{B}{2} \sum_i \sum_x \sum_{k \neq x} Y_{xi} Y_{xj} + \frac{C}{2} \left(\sum_x \sum_i Y_{xi} - n \right)^2 + \frac{D}{2} \sum_i \sum_x \sum_{k \neq x} d_{xk} Y_{xi} (Y_{k,j+1} + Y_{k,j-1}) \quad (5)$$

При этом, $Y_{ij} = 0, 1$. В функции (5) первые три члена выражения показывают соответствие матрице (2), четвёртый член выражения соответствует минимизации вычислительной энергии системы. A, B, C, D — положительные множители. Первый член равен нулю, при том условии, что каждая строка x содержит не более одной единицы. Второй член равен нулю, если каждый столбец содержит не более одной единицы. Третий член равен нулю, если в матрице имеется n единиц. Без учёта четвёртого члена функция энергии имеет минимумы ($E = 0$) во всех состояниях, представленных матрицей (2). Все другие состояния характеризуются более высокими показателями энергии ($E > 0$). Оптимальные маршруты характеризует четвёртый член выражения (5). Индексы i , четвёртого члена, берутся по $\text{mod } n$, показывая, что i -й узел находится по соседству с узлом $(n-1)$ и также первым узлом, т.е. $Y_{k,n+j} = Y_{kj}$. Длина маршрута, таким образом равняется четвёртому члену. Приравнивая коэффициенты при квадратичных и линейных членах в общей формуле энергии (1), а также раскрывая скобки в выражении (5) можем определить порядок внешних взаимодействий и матрицу связности узлов системы:

$$w_{xi,kj} = A\delta_{xk}(1-\delta_{ij}) - B\delta_{ij}(1-\delta_{xk}) - C - Dd_{xk}(\delta_{j,i+1} + \delta_{j,i-1}) \quad (6)$$

где $\delta_{ij} = 1$, если $i=j$, в противном случае, если $i \uparrow j$, тогда $\delta_{ij} = 0$. Кроме того, каждый нейрон имеет свой смещающий вес $I_{xi} = C_n$. Таким образом, в выражении (6) первый член задаёт связность нейронов в каждой строке матрицы, второй — внутри каждого столбца, третий и четвёртый внешнюю связность. Но и в (5) и в (6) первые три члена отвечают за общие ограничения для любой частной задачи маршрутизации и приводят систему к конечно-му состоянию матрицы (2). Оставшийся четвёртый член

управляет тем, какое из $\frac{n!}{2^n}$ возможных финальных состояний системы соответствует оптимальному маршруту. Выходные напряжения нейронов сети (состояния) приближаются к двоичным значениям по мере перехода в состояние устойчивого равновесия с минимальным показателем энергии. Связность нейронов i и j характеризуется весом T_{ij} , который имеет положительное значение, при возбуждающем соединении и отрицательное значение, при тормозящем соединении.

Реализация такого устойчивого равновесия сложной системы, функционирующей под воздействием множества внутренних и сторонних факторов [4], возможна с использованием алгоритмов работы искусственной нейронной сети по модели Хэмминга (рис. 1). В отличие от ИНС Хопфилда и Элмона ИНС Хэмминга имеет наименьшие энергетические затраты на вычисления и на объёмы затраты памяти, а также способна минимизировать энергозатраты и стабилизироваться в глобальном минимуме. Также одним из важных преимуществ данной сети является то, что её ёмкость не зависит от размерности входного сигнала и равна числу рабочего слоя [4,5,6]. Необходимо отметить, что все модели прогнозирования на основе алгоритмов ИНС Хэмминга проверяются на соответствующую адекватность решаемой задачи:

- 1) на независимость (т.е. отсутствие автокорреляции);
- 2) на случайность;
- 3) на нормальность распределения.

Для ясности понимания физики процесса рассмотрим алгоритм действия нейросети двухслойной структуры Хэмминга (рис. 1) более подробно. Нейроны первого слоя включают в себя n синапсов, которые имеют связность с входами сети это, так называемый, «фиктивный нуль-слой». Нейроны второго слоя имеют отрицательную обратную связность синапсов. Единственный синапс с положительной обратной связью от каждого нейрона соединён с его же аксоном. Роль входящего слоя заключается в том, что сеть использует на первом этапе показатели его весовых коэффициентов и в дальнейшем алгоритм исключает обращение к нему (ГОСТ Р 50922–2006. «Защита информации. Основные термины и определения»).

$$w_{ik} = \frac{x_i^k}{2}, \quad i = 0 \dots (n-1), k = 0 \dots (m-1) \quad (7)$$

$$T_k = \frac{n}{2}, \quad k = 0 \dots (m-1) \quad (8)$$

Значения (7) и (8) присваиваются весовым коэффициентам первого слоя сети и порогу активационной функции на стадии инициализации. В выражении (7) x_i^k — i -й элемент j -го образца. Весовые коэффициенты тормозящих синапсов принимаются со значениями некоторой величини

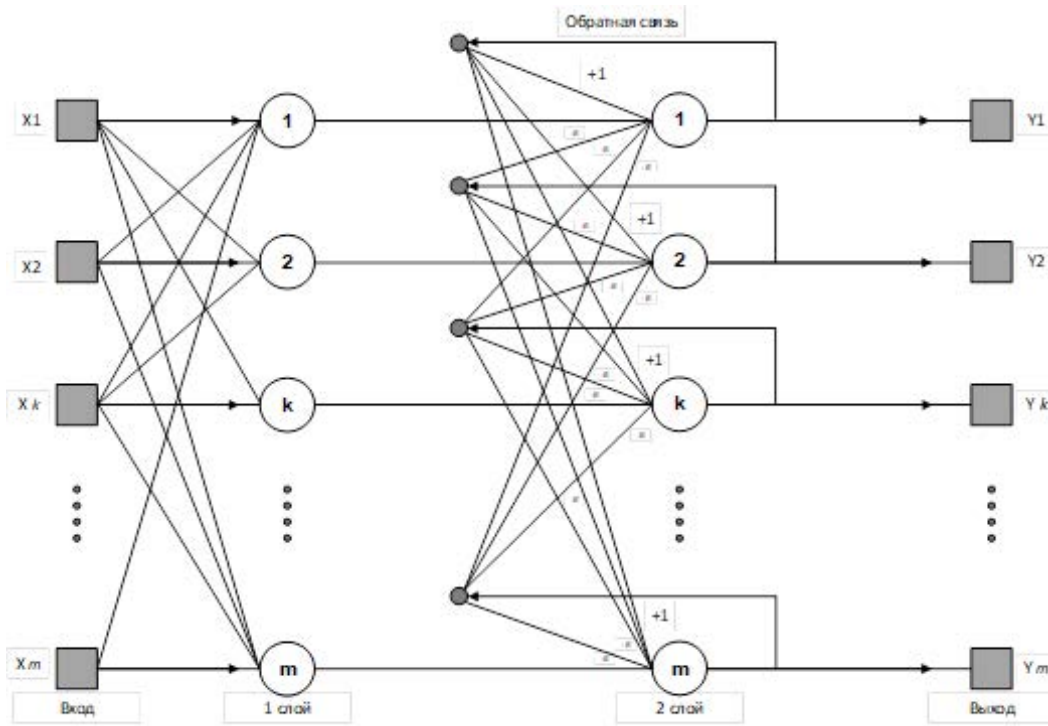


Рис. 1. Функциональная схема искусственной нейронной сети Хэмминга

ны $0 < \varepsilon < 1/m$. Синапс нейрона, связанный с его же аксоном имеет вес, равный +1. На входы сети подается вектор $X = \{x_i; i = 0 \dots (n-1)\}$, исходя из значения которого рассчитываются состояния нейронов первого слоя (верхний индекс в скобках означает номер слоя):

$$y_j^{(1)} = s_j^{(1)} = \sum_{i=0}^{n-1} w_{ij} x_i + T_j, \quad j = 0 \dots (m-1) \quad (9)$$

Затем, аксоны второго слоя инициализируются значениями (9), которые мы получили на входе ИНС:

$$y_j^{(2)} = y_j^{(1)}, \quad j = 0 \dots (m-1) \quad (10)$$

Происходит определение значений новых состояний нейронов второго слоя:

$$s_j^{(2)}(p+1) = y_j^{(2)}(p) - \varepsilon \sum_{k=0}^{m-1} y_k^{(2)}(p), \quad k \neq j, \quad j = 0 \dots (m-1). \quad (11)$$

определение значений новых состояний аксонов второго слоя:

$$y_j^{(2)}(p+1) = f[s_j^{(2)}(p+1)], \quad j = 0 \dots (m-1), \quad (12)$$

где f активационная функция, которая определяет пороговые значения. Величина порога F должна иметь достаточно большое значение, для того чтобы аргумент (каким бы большим не был) не приводил к насыщению. После этого происходит проверка, изменились ли выходы нейронов второго слоя за последнюю итерацию.

Таким образом, если иметь прогностические данные об изменении состояния датчиков-анализаторов системы обеспечения безопасности, то можно управлять системой в зависимости от типа воздействия, локализовать уязвимости, перенаправлять потоки трафика реального времени, прогнозировать поведение системы безопасности, предотвратить потери данных [7]. ИНС Хэмминга вполне справится с подобного рода задачей, если провести обучение сети, на вход подавать данные анализа состояния датчиков системы обеспечения безопасности ИТКС. Исходными данными для обучения прогнозированию сети будут являться эталонные значения состояния датчиков рубежей обеспечения безопасности в виде отклика на деструктивное воздействие: программно-вирусная активность; избыточность входного трафика, характерная для DOS-атаки, нарушение прав разграничения доступа на объекте информатизации ИТКС; не декларируемые режимы работы сетевого оборудования и т.д. [8,9].

Блок-схема алгоритма, реализующего прогностическую функцию и запускающего протоколы управления сложной сетью представлена на рис. 2.

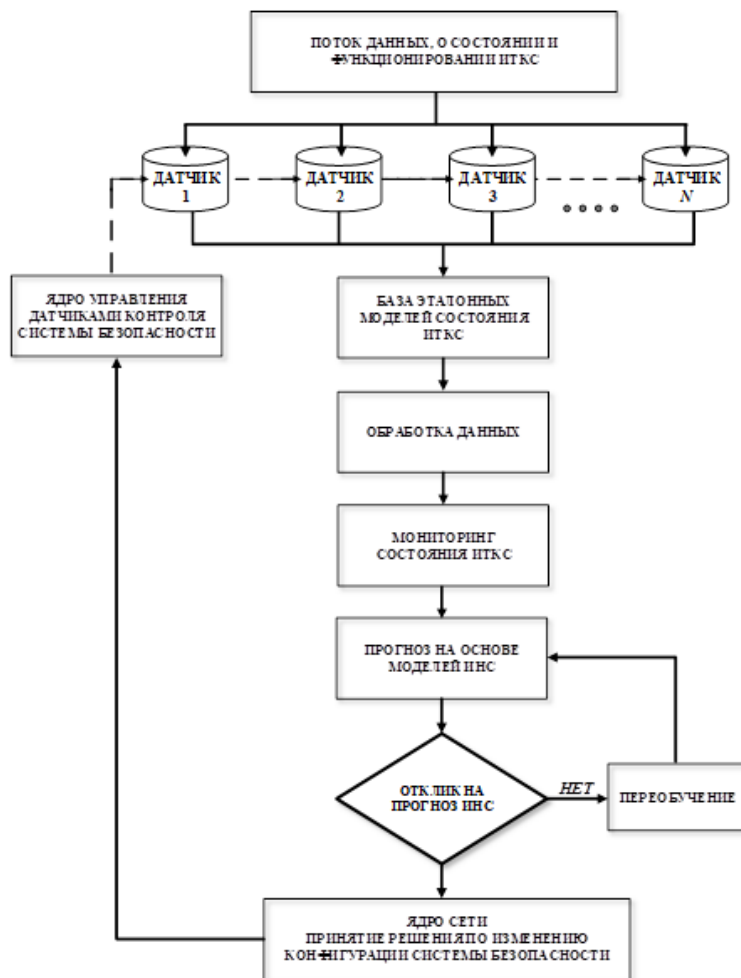


Рис. 2. Алгоритм функционирования системы защиты на основе ИИС

Заключение

На основе данных от анализаторов состояния системы (датчиков) происходит положительное обратное воздействие — активация протоколов управления конфигурацией сети, изменение структуры, резервная маршрутизация критичных для системы потоков информации. Перезапрос на обучение нейросети происходит в случае ошибки (неудачного решения). Через систему обратной связи осуществляется переобучение и формирование нового эталонного образа, что позволяет наиболее корректно сформулировать решение на выходе ИИС, сделать прогнозирование наиболее точным.

Литература

1. Лаута О.С., Нечепуренко А.П., Муртазин И.Р., Суетин А.И. Модели интеллектуальных воздействий // Информационная безопасность регионов России. 2017. С. 144–145.
2. Муртазин И.Р., Коцыняк М.А., Мамай А.В., Лаута О.С. Функциональная модель комплекса информационного воздействия на беспроводные сети передачи данных // Актуальные

проблемы защиты и безопасности: Труды XXII Всероссийской научно-практической конференции РАРАН. 2019. С. 188–189.

3. Ракицкий С.Н., Ракицкий Д.С., Жбанова В.В., Лепешкин О.М. Подход к формированию требований контроля защиты информационно-телекоммуникационных сетей в условиях деструктивных воздействий // Нейрокомпьютеры и их применение: XVII Всероссийская научная конференция. 2019.

4. Ракицкий С.Н., Ракицкий Д.С., Лаута О.С., Данилова Е.И. Подход к обоснованию структуры воздействия целевой кибернетической атаки // Нейрокомпьютеры и их применение. XVII Всероссийская научная конференция. 2019.

5. Гудков М.А., Муртазин И.Р., Гагарин Ю.А., Крибель А.М., Соловьёв Д.В. Применение методов захвата и анализа пакетов, передаваемых по информационно-телекоммуникационным сетям, для аудита сетевой безопасности сетей // Современные информационные технологии. Теория и практика: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. Отв. ред. Т.О. Петрова. 2018. С. 158–162.

6. Муртазин И.Р., Коцыняк М.А., Бесков А.В., Лаута О.С., Мамай А.В. Архитектура сети подвижной радио-



связи на основе эталонной модели взаимодействия открытых систем // Радиолокация, навигация, связь: Сборник трудов XXV Международной научно-технической конференции. В 6-ти томах. Воронежский государственный университет, АО «Концерн «Созвездие», 2019. С. 173–182.

7. Берзин Е.А. Оптимальное распределение ресурсов и элементы синтеза систем. М.: Советское радио, 1974. 303 с.

8. Радько Н.М., Скобелев И.О. Риск-модели информационно-телекоммуникационных систем при реализации угроз удаленного и непосредственного доступа. М.: РадиоСофт, 2011. 229 с.

9. Корсунский А.С., Лепешкин О.М. Подход к формализации автоматизированной информационной системы для оценки функциональной безопасности // Вопросы радиоэлектроники. 2012. Т. 3. № 1. С. 75–82.

MANAGEMENT OF THE SECURITY SYSTEM FOR INFORMATION SUPPORT OF SPORTS EVENTS BASED ON ALGORITHMS FOR THE FUNCTIONING OF AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

MIKHAIL A. KARPOV

St. Petersburg, Russia, karpuh.djan@mail.ru

IVAN I. MICHAEL

St. Petersburg, Russia, nemo4ka74@gmail.com

STANISLAV N. RAKITSKY

St. Petersburg, Russia, s15136@mail.ru

ELENA I. DANILOVA

Pushkin, Russia, danilova-ei@mail.ru

KEYWORDS: artificial neural network; information and telecommunications network; software system; management.

ABSTRACT

Cybernetic confrontation marks a new level of confrontation. An urgent requirement of the time is the revision of the principles of construction for managing the security system of information support for sports events by the method of forecasting implemented by an artificial neural network. To manage the information security system of an information and telecommunications network, it is necessary to apply highly effective methods of monitoring and controlling the network state directly in real time. The basis of these methods should be data from tools for analyzing and predicting the state of control boundaries and the entire system as a whole. Artificial neural networks are the most suitable tool for forecasting. A neural network is a highly parallel dynamic system with a directed graph topology that can receive output information by reacting its state to input influences. Artificial neural networks are essentially a formal device for describing the key algorithm for solving the problem of predicting the state of the information and telecommunications network security system based on characteristic time sections. Due to their trainability, artificial neural networks are able to make decisions that correspond to the

dynamic change of States, which is typical for such complex systems as the information and telecommunications network security system. Thus, the main trends in the long-term development of the structure of protection systems for infotelecommunication systems are justified. Recommendations are given on the possibility of using the predictive function of an artificial neural network, the functional scheme of an artificial Hamming neural network is described in detail, its advantages relative to other neural networks are considered, and the algorithm of functioning is presented.

REFERENCES

1. Lauta O.S., Nechepurenko A.P., Murtazin I.R., Suetin A.I. Models of intellectual influences. Collection, 2017. *Information security of Russian regions*. Pp. 144-145. (In Rus)
2. Murtazin I.R., Kotsynyak M.A., Mamay A.V., Lauta O.S. Functional model of complex information impact on wireless data transmission networks. *In the collection: Actual problems of protection and security Proceedings of the XXII all-Russian scientific and practical confer-*

ence raran. 2019. Pp. 188-189. (In Rus)

3. Rakitsky S.N., Rakitsky D.S., zhanova V. V., Lepeshkin O.M. Approach to the formation of requirements for the protection of information and telecommunications networks under destructive influences. *In the book: Neurocomputers and their applications. XVII all-Russian scientific conference.* 2019. (In Rus)

4. Rakitsky S.N., Rakitsky D.S., Lauta O.S., Danilova E.I. Approach to substantiating the structure of the impact of a targeted cybernetic attack. *In the book: Neurocomputers and their applications. XVII all-Russian scientific conference.* 2019. (In Rus)

5. Gudkov M.A., Murtazin I.R., Gagarin Yu. a., Kribel a.m., Soloviev D.V. Application of methods for capturing and analyzing packets transmitted over information and telecommunications networks for network security audit. *In the collection: Modern information technology. Theory and practice Materials of the IV all-Russian scientific and practical conference.* Ed. by T.O. Petrov. 2018. Pp. 158-162. (In Rus)

6. Murtazin I.R., Kotsynyak M.A., Beskov A.V., Lauta O.S., Mamay A.V. Architecture of mobile radio communication network based on the reference model of interaction of open systems. *In the collection: Radar, navigation, communication Proceedings of the XXV International scientific and technical conference.* In 6 vol. Voronezh state University, JSC "Concern " Constellation". 2019. Pp. 173-182. (In Rus)

7. Berzin E.A. *Optimal'noe raspredelenie resursov i elementy sinteza sistem* [Optimal distribution of resources and elements of systems synthesis]. Moscow: Sovetskoe radio, 1974. 303 p. (In Rus)

8. Radko N.M., Skobelev I.O. *Risk-modeli informatsionno-telekommunikatsionnykh sistem pri realizatsii ugroz udalennogo i neposredstvennogo dostupa* [Risk models of information and telecommunications systems in the implementation of threats of remote and direct access]. Moscow: Radiosoft, 2011. 229 p. (In Rus)

9. Korsunsky A.S., Lepeshkin O.M. Approach to formalization of an automated information system for functional safety Assessment. *Questions of radio electronics.* 2012. Vol. 3. No. 1. Pp. 75-82. (In Rus)

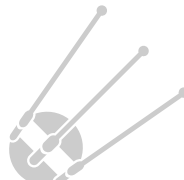
INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Karpov M. A., postgraduate student of the military Academy of communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny; Michael I. I., PhD, Associate Professor, head of the Department of the military Academy of communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budennogo;

Rakitsky S. N., PhD, Associate Professor, associate Professor Of the military Academy of communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budennogo;

Danilova E. I., Lecturer of the Naval Polytechnic Institute.

For citation: Karpov M.A., Michael I.I., Rakitsky S.N., Danilova E.I. Management of the security system for information support of sports events based on algorithms for the functioning of an artificial neural network. *H&ES Research.* 2020. Vol. 12. No. 5. Pp. 46-52. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-5-46-52 (In Rus)





doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-5-53-61

МЕТОДИКА АНАЛИТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВО ВРЕМЕНИ ИНЦИДЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

КОРОЛЕВ

Игорь Дмитриевич¹

ПОПОВ

Владимир Игоревич²

КОНОВАЛЕНКО

Сергей Александрович³

АННОТАЦИЯ

Процесс аналитической обработки инцидентов информационной безопасности обладает рядом недостатков, описанных в данной статье. Построена структурная модель подсистемы аналитической обработки данных системы мониторинга угроза информационной безопасности объектов критически важной информационной инфраструктуры и описан процесс ее функционирования. На основе теории вероятности описан процесс заблаговременного прогнозирования наступления инцидента информационной безопасности, обусловленного как случайными и независимыми событиями информационной безопасности, так и целенаправленной атакой на информационные ресурсы. *Предмет статьи* – методика аналитической обработки событий информационной безопасности в системе мониторинга угроза информационной безопасности объектов критически важной информационной инфраструктуры. *Цель статьи* – повысить вероятность обнаружения инцидента информационной безопасности за счет ретроспективного анализа событий информационной безопасности, распределенных во времени, а также своевременно предупредить о возможном наступлении инцидента информационной безопасности за счет прогнозирования его появления, что в свою очередь приводит к повышению безопасности информационных систем. Тем самым, в отличие от существующей модели корреляции событий информационной безопасности, сократить время обнаружения инцидента информационной безопасности в заданный временной интервал. *Методология* проведения исследований позволяет решить две связанные, но различные задачи: «учетная задача» и «вероятностная задача». В рамках «учетной задачи» решение сводится к одной цели – определить долю наступления инцидента информационной безопасности на различных уровнях его наступления. В рамках решения «вероятностной задачи» в методике определяется вероятность наступления инцидента информационной безопасности, исходя из случайного поступления на вход цепочек событий информационной безопасности. *Результаты* исследований позволяют устранить недостатки существующих систем выявления компьютерных атак, таких как, распределенных во времени, а также применить разработанную методику на создание перспективных средств автоматизированных систем, способных устойчиво функционировать в условиях ведения распределенных во времени компьютерных атак.

Сведения об авторах:

¹д.т.н., профессор, профессор Краснодарского высшего военного орденов Жукова и Октябрьской Революции Краснознаменное училища имени генерала армии С.М.Штеменко, г. Краснодар, Россия, pi_korolev@mail.ru

²адъюнкт Краснодарского высшего военного орденов Жукова и Октябрьской Революции Краснознаменное училища имени генерала армии С.М.Штеменко, г. Краснодар, Россия, ya28vip@mail.ru

³преподаватель Краснодарского высшего военного орденов Жукова и Октябрьской Революции Краснознаменное училища имени генерала армии С.М.Штеменко, г. Краснодар, Россия, konovalenko_rcf@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: методика; инцидент информационной безопасности; событие информационной безопасности; система мониторинга угроз информационной безопасности.

Для цитирования: Королев И.Д., Попов В.И., Коноваленко С.А. Методика аналитической обработки распределенных во времени инцидентов информационной безопасности // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 5. С. 53–61. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-5-53-61

Введение

В условиях постоянного совершенствования различных типов компьютерных угроз, в частности появления новых, распределенных во времени атак, важно иметь защищенную систему, которая будет соответствовать современным требованиям нормативно-правовых актов в области защиты информации критически важных информационных ресурсов. В рамках мониторинга угроз информационной безопасности (УИБ) в настоящее время используется подсистема аналитической обработки данных (ПАОД) объектов критически важной информационной инфраструктуры (КИИ).

Анализ существующих технических решений, входящих в состав ПАОД КИИ, проведенный в [1–3, 5–7] показал, что поступающие события информационной безопасности (СИБ) из различных источников разнородны и не систематизированы для анализа; технический анализ данных затруднен большим потоком СИБ; правила корреляции, заложенные в систему, направлены на выявление конкретных инцидентов информационной безопасности (ИИБ) и не учитывают возможных комбинаций СИБ; отсутствует ретроспективный анализ СИБ, распределенных во времени ИИБ.

Под распределенными во времени ИИБ понимается появление одного или нескольких нежелательных или неожиданных СИБ, распределенных во времени, с которыми

связана значительная вероятность компрометации проводимых операций и создания УИБ.

Анализ существующих способов, методик и алгоритмов обработки данных в ПАОД [4, 8–15] указал на невозможность обнаружения распределенных во времени ИИБ с одной стороны и необходимостью в оперативном реагировании на поступающие УИБ во времени с другой.

В связи с указанным возникает теоретически и практически значимая актуальная необходимость в разработке методики аналитической обработки данных (АОД) в условиях распределенных ИИБ, решение которой позволит в целом повысить эффективность ПАОД КИИ.

Разработку методики АОД в условиях распределенных во времени ИИБ реализуем в два этапа:

1 этап — построение структурной модели ПАОД КИИ.

2 этап — моделирование процесса функционирования ПАОД КИИ.

1 этап — построение структурной модели ПАОД КИИ

Для разработки методики АОД КИИ построим структурную модель ПАОД КИИ, представленную на (рис. 1).

ПАОД, представленная на рис. 1, предназначена для реализации процесса обнаружения распределенных во времени ИИБ в ПАОД КИИ.

Отметим, что в представленной структурной модели ПАОД КИИ (рис. 1):

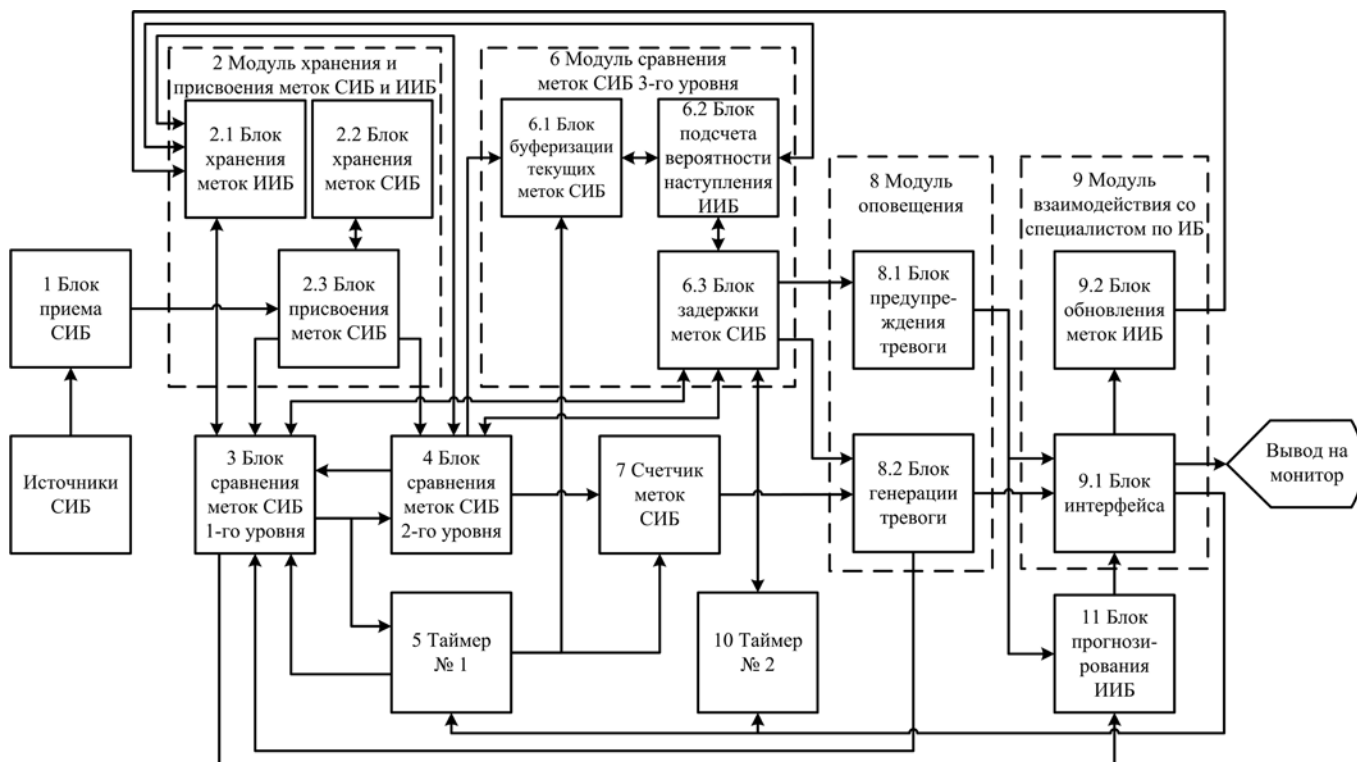


Рис. 1. Структурная модель ПАОД КИИ



1. Блок приема СИБ предназначен для сбора информации о происходящих событиях на различных узлах сети, которые хранятся в виде журнала событий и передачи поступивших СИБ в модуль хранения и присвоения меток СИБ и ИИБ, в котором им присваиваются уникальные метки.

2. Модуль хранения и присвоения меток СИБ и ИИБ обеспечивает хранение меток СИБ и цепочек меток СИБ, последовательность которых приводит к ИИБ (где метка СИБ представляет собой натуральное целое число n от 1 до $+\infty$).

3. Блок сравнения меток СИБ с правилом директивы корреляции первого уровня обеспечивает прием и обработку текущих меток СИБ по правилу директивы корреляции первого уровня.

4. Блок сравнения меток СИБ с правилом директивы корреляции второго уровня обеспечивает прием и обработку текущих меток СИБ по правилу директивы корреляции второго уровня, а также отправку текущих меток СИБ в блок буферизации текущих меток СИБ модуля сравнения меток СИБ третьего уровня и в счетчик меток СИБ.

5. Таймер № 1 обеспечивает прием от блока сравнения меток СИБ с правилом директивы корреляции первого уровня и от блока интерфейса управляющих сигналов запуска и настройки, отправку в счетчик меток СИБ и блок буферизации текущих меток СИБ сигнала обнуления, а также разрешающего сигнала в блок сравнения меток СИБ с правилом директивы корреляции первого уровня, переводящего его в рабочее состояние.

6. Модуль сравнения меток СИБ третьего уровня обеспечивает буферизацию текущих меток СИБ, подсчет значения показателя вероятности наступления ИИБ в блоке подсчета вероятности наступления ИИБ и задержку цепочек меток СИБ в блоке задержки меток СИБ по которым достигнуты заданные значения показателя вероятности наступления ИИБ свыше установленного порогового значения.

7. Счетчик меток СИБ обеспечивает прием меток СИБ, поступающих от блока сравнения меток СИБ с правилом директивы корреляции второго уровня, их подсчет в порядковом исчислении, отправку в блок генерации тревоги и прием от таймера № 1 сигнала обнуления.

8. Модуль оповещения обеспечивает предупреждение и генерацию тревоги по заданным значениям показателя вероятности наступления ИИБ, устанавливаемым специалистом по информационной безопасности (ИБ).

9. Модуль взаимодействия со специалистом по ИБ обеспечивает настройку системы, ее визуализацию и обновление меток ИИБ.

10. Таймер № 2 обеспечивает прием от блока интерфейса управляющих сигналов и сигналов настройки, взаимодействие с блоком задержки меток СИБ по текущим цепочкам задержанных меток СИБ для установления временного интервала жизни каждой из задержанных цепочек

меток СИБ, отправку сигнала обнуления строки цепочки меток СИБ блока задержки меток СИБ.

11. Блок прогнозирования ИИБ обеспечивает прием цепочек меток СИБ от блока предупреждения тревоги, прием неизвестных меток СИБ от блока сравнения меток СИБ с правилом директивы корреляции первого уровня и взаимодействие с блоком интерфейса.

II этап — моделирование процесса функционирования ПАОД КИИ

Процесс функционирования ПАОД заключается в предварительном задании оператором множества параметров работы системы:

- временных — в таймере № 1 и таймере № 2, определяющие выделенные временные интервалы, затрачиваемые на обработку ИИБ;

- количественных — в счетчике меток СИБ, определяющие максимальное количество меток СИБ, возникающих за выделенный временной интервал; в блоке подсчета вероятности наступления ИИБ, определяющие значения показателя вероятности наступления ИИБ, исходя из которых, во взаимодействии с блоком хранения меток ИИБ, подсистема АОД осуществляет перемещение цепочки меток СИБ из блока буферизации текущих меток СИБ в блок задержки меток СИБ, предупреждение тревоги, либо генерацию тревоги посредством модуля оповещения;

- качественных — в блоках сравнения меток СИБ с правилами директивы корреляции первого и второго уровней, определяющие правила обработки поступающих меток СИБ;

- комбинированных — в блоке хранения меток ИИБ в виде таблицы хранения меток ИИБ и в блоке хранения меток СИБ в виде таблицы хранения меток СИБ, определяющие вид меток ИИБ и СИБ.

Блок приема СИБ передает поступившие СИБ в модуль хранения и присвоения меток СИБ и ИИБ, в котором им присваиваются уникальные метки. Затем в блоках сравнения меток СИБ проводится обработка текущих меток СИБ по правилам директивы корреляции первого и второго уровней, при выполнении которых производится подсчет текущих меток СИБ в счетчике меток СИБ до достижения их максимального количества за выделенный временной интервал с последующим формированием сигнала тревоги в блок генерации тревоги, а также их хранение в блоке буферизации текущих меток СИБ и подсчет значения показателя вероятности наступления ИИБ в блоке подсчета вероятности наступления ИИБ. При условии, что значение текущей метки СИБ не удовлетворяет правилам директивы корреляции первого и второго уровней, производится их перемещение в блок задержки меток СИБ, который во взаимодействии с блоком подсчета вероятности наступления ИИБ и с блоком хранения меток ИИБ проверяет

соответствие значения текущей метки СИБ значениям последующих элементов задержанных цепочек меток СИБ.

Блок предупреждения тревоги принимает от блока задержки меток СИБ незавершенные цепочки меток СИБ, по которым достигнуты заданные значения показателя вероятности наступления ИИБ, и передает их в блок прогнозирования ИИБ, осуществляющего их анализ с метками СИБ, не отвечающих правилам директивы корреляции первого и второго уровней, не являющихся последующими элементами задержанных цепочек меток СИБ в блоке задержки меток СИБ и поступающих от блока сравнения меток СИБ с правилом директивы корреляции первого уровня. Оператор на основе результатов функционирования блока прогнозирования ИИБ и сигналов, поступающих от модуля оповещения, посредством блока интерфейса принимает решение о состоянии ИС и обнаружении нового ИИБ, который посредством блока обновления меток ИИБ поступает в блок хранения меток ИИБ.

Далее описание процесса функционирования ПАОД КИИ (см. рис. 1) осуществим при следующих ограничениях:

1. База данных ИИБ, состоящая из цепочек последовательных меток СИБ, является актуальной на момент реализации процесса АОД.
2. Метки СИБ появляются равновероятно и независимо.
3. Правила корреляции меток СИБ первого и второго уровней заданы.
4. Процессы функционирования модулей хранения и присвоения меток, оповещения, взаимодействия со специалистом по ИБ, а также блоков приема СИБ, сравнения меток СИБ с правилами директивы корреляции 1-го и 2-го уровней, счетчика меток СИБ, буферизации текущих меток СИБ, задержки меток СИБ, генерации тревоги, про-

гнозирования, таймеров № 1 и № 2 обеспечивают выполнение возложенных на них функций и не будут в полном объеме рассматриваться в настоящей работе.

С учетом указанных ограничений, в рамках описания вероятности обнаружения ИИБ в ПАОД КИИ, представим процесс функционирования блока подсчета вероятности наступления ИИБ модуля сравнения меток СИБ 3-го уровня ПАОД КИИ в виде его математического описания.

Для реализации математического описания процесса подсчета вероятности наступления ИИБ в блоке подсчета вероятности наступления ИИБ ПАОД КИИ определим исходные данные, необходимые для дальнейшего моделирования: пусть произвольный j -й ИИБ состоит из n_j меток СИБ, где $j = 1, 2, \dots, m$. Количество ИИБ (m). Пусть наступили первые k_j меток СИБ из j -го ИИБ ($1 \leq k_j \leq n_j$). Тогда можно говорить о том, что наступило $(k_j/n_j) \cdot 100\%$ j -го ИИБ.

В данной ситуации есть две связанных, но различных задачи: «учетная задача» и «вероятностная задача».

В рамках «учетной задачи» решение сводится к одной цели — определить долю наступления j -го ИИБ на i -м уровне (P_j), в виде:

$$P_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} k_{ij}}{n_j}, \quad j = \overline{1, m}, \quad (1)$$

$k_{ij} = \{1, \text{ если метка СИБ } i\text{-го уровня } j\text{-го ИИБ получена; } 0, \text{ в противном случае}\},$

где i — номер уровня; j — номер ИИБ; k_{ij} — метки СИБ i -го уровня j -го ИИБ.

Решение «учетной задачи» схематично представлено на рис. 3. Вычисление P_j в (1) производится в блоке подсчета вероятности наступления ИИБ модуля сравнения меток СИБ 3-го уровня. В случае, если вычисленное зна-

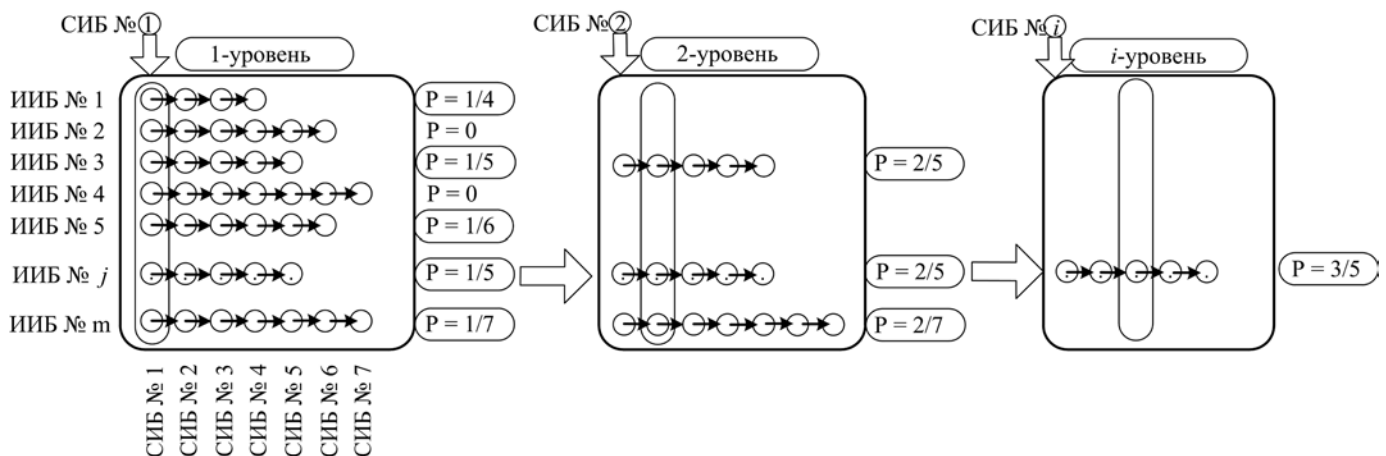


Рис. 3. Схема «учетной задачи» подсчета доли наступления ИИБ



чение (P_j) превосходит определенное пороговое значение (например, $P_j \geq 0,8$), то ПАОД генерирует сигнал оповещения о предупреждении тревоги.

В рамках решения «вероятностной задачи» определим вероятность наступления j -го ИИБ, исходя из случайного поступления на вход цепочек СИБ.

Для решения «вероятностной задачи» будем рассматривать всю базу данных ИИБ целиком и рассчитаем вероятность случайного наступления j -го ИИБ при условии наступления первых kj меток СИБ.

Обозначим количество различных первых элементов меток всех ИИБ через g_1 , различных вторых элементов меток ИИБ — g_2 , различных j -х элементов меток ИИБ — g_j . Количество всех различных меток ИИБ — N . Количество ИИБ — m . Различные метки ИИБ появляются равномерно и независимо.

Вероятность того, что текущая метка СИБ удовлетворяет правилу директивы корреляции 1-го уровня, равна:

$$P_1 = \frac{g_1}{N}.$$

Вероятность того, что текущая метка СИБ не удовлетворяет правилу директивы корреляции 1-го уровня, равна соответственно: $\overline{P_1} = 1 - P_1 = 1 - \frac{g_1}{N}$.

Вероятность того, что текущая метка СИБ удовлетворяет правилу директивы корреляции 2-го уровня, при условии решения «Да» на первом уровне, равна:

$$P_{2i_1} = \frac{g_{2i_1}}{N}, \quad i_1 = \overline{1, g_1},$$

где g_{2i_1} — количество различных вторых элементов меток ИИБ, соответствующих i_1 -му (из различных) первому элементу меток ИИБ.

Вероятность того, что текущая метка СИБ не удовлетворяет правилу директивы корреляции 2-го уровня, при условии решения «Да» на первом уровне, равна:

$$\overline{P_{2i_1}} = 1 - P_{2i_1} = 1 - \frac{g_{2i_1}}{N}, \quad i_1 = \overline{1, g_1}.$$

Аналогично, вероятность того, что текущая метка СИБ удовлетворяет правилу директивы корреляции 3-го уровня, при условии решения «Да» на первом и втором уровнях, равна:

$$P_{3i_2} = \frac{g_{3i_2}}{N}, \quad i_2 = \overline{1, g_2},$$

где g_{3i_2} — количество различных третьих элементов меток ИИБ, соответствующих i_2 -му (из различных) второму

элементу меток ИИБ, для которого есть решение(я) «Да» в блоке сравнения меток СИБ 1-го уровня.

Вероятность поступления на вход СИБ, не удовлетворяющему правилу директивы корреляции 3-го уровня, равна:

$$\overline{P_{3i_2}} = 1 - P_{3i_2} = 1 - \frac{g_{3i_2}}{N}, \quad i_2 = \overline{1, g_2}.$$

При необходимости условные вероятности (при условии решений «Да» на 1, 2, ..., (s-1)-м уровнях) решений «Да» и «Нет» при сравнении меток СИБ s-го уровня рассчитываются по формулам (2) и (3) соответственно:

$$P_{s_{i_{s-1}}} = \frac{g_{s_{i_{s-1}}}}{N}, \quad (2)$$

$$\overline{P_{s_{i_{s-1}}}} = 1 - P_{s_{i_{s-1}}} = 1 - \frac{g_{s_{i_{s-1}}}}{N}, \quad i_{s-1} = \overline{1, g_{s-1}}, \quad (3)$$

где $g_{s_{i_{s-1}}}$ определяется аналогично g_{2i_1} и g_{3i_2} .

Вероятность случайного получения решения «Да» на 1 и 2 уровне (совместно), то есть вероятность того, что в итоге ИИБ не произойдет, равна:

$$P_{1,2i_1} = P_1 \cdot P_{2i_1} = \frac{g_1 \cdot g_{2i_1}}{N^2}, \quad i_1 = \overline{1, g_1}. \quad (4)$$

Вероятность того, что решение «Да» на 1 и 2 уровнях (совместно) были получены неслучайно (то есть вероятность того, что наблюдается ИИБ) вычислим как вероятность противоположного события, используя (4) по формуле (5):

$$P_{1,2(\text{ИИБ})} = \overline{P_{1,2i_1}} = 1 - P_{1,2i_1} = 1 - \frac{g_1 \cdot g_{2i_1}}{N^2}, \quad i_1 = \overline{1, g_1}. \quad (5)$$

Вероятность случайного получения решений «Да» на 1, 2 и 3 уровне (совместно), то есть вероятность того, что в итоге ИИБ не произойдет, вычисляется по формуле (6):

$$P_{1,2,3i_2} = P_1 \cdot P_{2i_1} \cdot P_{3i_2} = \frac{g_1 \cdot g_{2i_1} \cdot g_{3i_2}}{N^3}, \quad (6)$$

$$i_1 = \overline{1, g_1}, \quad i_2 = \overline{1, g_2}.$$

Вероятность(и) же того, что решение «Да» на 1, 2 и 3 уровнях (совместно) были получены неслучайно (то есть ве-

роятность того, что наблюдается ИИБ) вычислим как вероятность противоположного исхода событий по формуле (7):

$$\overline{P}_{1,2,3(\text{ИИБ})} = \overline{P}_{1,2_1,3_2} = 1 - P_{1,2_1,3_2} = 1 - \frac{g_1 \cdot g_{2_1} \cdot g_{3_2}}{N^3} \quad (7)$$

$$i_1 = \overline{1, g_1}, \quad i_2 = \overline{1, g_2}.$$

Введем допущение, что в различных ИИБ могут быть одни и те же СИБ. Сгруппируем повторяющиеся СИБ и рассмотрим «вероятностную задачу» для сгруппированных событий. Для этого введем дополнительные исходные данные.

Пусть есть m ИИБ. Все вместе они содержат N меток СИБ, из которых h — различные, а остальные повторяются. То есть имеем h видов (групп) СИБ, внутри каждой из которых СИБ одинаковые, а в любых двух группах — СИБ разные.

Пусть в 1-й группе СИБ их n_1 , во 2-й группе СИБ их n_2 , в h -й группе СИБ их n_h , очевидно, что $n_1 + n_2 + \dots + n_h = N$.

Введем модельное предположение (упрощение) — пусть вероятности наступления СИБ равны: СИБ из 1-й группы: $p_1 = \frac{n_1}{N}$, СИБ из 2-й группы $p_2 = \frac{n_2}{N}$, СИБ из h -й группы $p_h = \frac{n_h}{N}$, очевидно, что $p_1 + p_2 + \dots + p_h = 1$.

Пусть первые уровни СИБ всех m ИИБ содержат h_1 ($1 \leq h_1 \leq h$) различных СИБ, то есть на 1-м уровне всех ИИБ содержатся СИБ из i_1 -й, i_2 -й, ..., i_{h_1} -й групп СИБ: $1 \leq i_1 \leq i_2 \leq \dots \leq i_{h_1} \leq h$ и числа $\{i_1, i_2, \dots, i_{h_1}\}$ — это подмножество чисел $\{1, 2, \dots, h\}$.

Пусть количество ИИБ с СИБ 1-го уровня: из i_1 -й группы (СИБ) = m_1 , из i_2 -й группы (СИБ) = m_2 , ..., из i_{h_1} -й группы (СИБ) = m_{h_1} , очевидно, что $m_1 + m_2 + \dots + m_{h_1} = m$.

Тогда для произвольного i -го ИИБ ($1 \leq i \leq m$) вероятность того, что случайный СИБ будет СИБ 1-го уровня i -го ИИБ, равна:

$$P_i = p_i \cdot \frac{1}{m_i} = \frac{n_i}{N} \cdot \frac{1}{m_i}, \quad (8)$$

а вероятность того, что не будет:

$$\overline{P}_i = 1 - P_i = 1 - \frac{n_i}{N} \cdot \frac{1}{m_i}, \quad (9)$$

где i_j — это группа СИБ, к которой принадлежит СИБ 1-го уровня, i -го ИИБ,

$i_1 \leq i_2 \leq i_{h_1}$, m_i — количество ИИБ, у которых СИБ 1-го уровня соответствует случайному СИБ.

Вероятность же того, что первый по порядку наступления СИБ будет СИБ 1-го уровня какого-либо ИИБ, равна:

$$P_{h_1} = p_{i_1} + p_{i_2} + \dots + p_{i_{h_1}} = \frac{n_{i_1} + n_{i_2} + \dots + n_{i_{h_1}}}{N}. \quad (10)$$

Соответственно, вероятность того, что случайный СИБ не будет СИБ 1-го уровня никакого из ИИБ на основании (10), определяется формулой (11):

$$\overline{P}_{h_1} = 1 - P_{h_1} = 1 - \frac{n_{i_1} + n_{i_2} + \dots + n_{i_{h_1}}}{N}. \quad (11)$$

Для анализа вероятности того, что второй (по порядку наступления) случайный СИБ будет СИБ 2-го уровня для ИИБ, рассмотрим только те ИИБ, для которых уже наступил СИБ 1-го уровня. Их количество равно m_1 .

Пусть количество различных СИБ на 2-м уровне у рассматриваемых ИИБ равно h_2 ($1 \leq h_2 \leq m_1$), то есть на 2-м уровне рассматриваемых ИИБ содержится СИБ из j_1 -й, j_2 -й, ..., j_{h_2} -й групп СИБ: $1 \leq j_1 \leq j_2 \leq \dots \leq j_{h_2} \leq h$ и множество чисел 2-го уровня $\{j_1, j_2, \dots, j_{h_2}\}$ — это подмножество чисел $\{1, 2, \dots, h\}$.

Пусть количество ИИБ с СИБ 2-го уровня из j_1 -й группы СИБ l_1 , из j_2 -й группы СИБ l_2 , ..., из j_{h_2} -й группы СИБ l_{h_2} , очевидно, что $l_1 + l_2 + \dots + l_{h_2} = m_1$, тогда для произвольного j -го ИИБ из рассматриваемых m_1 ИИБ, вероятность того, что случайное СИБ будет СИБ 2-го уровня j -го ИИБ, определяется формулой (12):

$$P_{j_2} = p_{j_1} \cdot \frac{1}{l_1} = \frac{n_{j_1}}{N} \cdot \frac{1}{l_1}, \quad (12)$$

вероятность же того, что случайное СИБ не будет СИБ 2-го уровня j -го ИИБ, определяется формулой (13):

$$\overline{P}_{j_2} = 1 - P_{j_2} = 1 - \frac{n_{j_1}}{N} \cdot \frac{1}{l_1}, \quad (13)$$

где j_1 — это группа СИБ, к которой принадлежит СИБ 2-го уровня j -го ИИБ, $j_1 \leq j_2 \leq j_{h_2}$; l_1 — количество ИИБ, у которых СИБ 2-го уровня соответствует случайному СИБ.

Вероятность же того, что второй (по порядку наступления) случайный СИБ будет СИБ 2-го уровня какого-либо из рассматриваемых m_1 ИИБ равна:

$$P_{h_2} = p_{j_1} + p_{j_2} + \dots + p_{j_{h_2}} = \frac{n_{j_1} + n_{j_2} + \dots + n_{j_{h_2}}}{N}. \quad (14)$$

Соответственно, вероятность того, что случайный СИБ не будет СИБ 2-го уровня никакого из рассматриваемых m_1 ИИБ, равна:

$$\overline{P}_{h_2} = 1 - P_{h_2} = 1 - \frac{n_{j_1} + n_{j_2} + \dots + n_{j_{h_2}}}{N}. \quad (15)$$



Далее аналогично формулам (14), (15) рассчитывается вероятность для 3-го и дальнейших уровней СИБ по ИИБ.

Вероятность того, что s -й (по порядку поступления) случайный СИБ будет СИБ s -го уровня какого-либо из рассматриваемых ИИБ, равна:

$$P_{h,s} = p_{q_1} + p_{q_2} + \dots + p_{q_{h_s}} = \frac{n_{q_1} + n_{q_2} + \dots + n_{q_{h_s}}}{N}, \quad (16)$$

где q_1, q_2, \dots, q_{h_s} — номера групп СИБ ($1 \leq q_1 \leq q_2 \leq \dots \leq q_{h_s} \leq h$), в которых содержатся СИБ s -го уровня оставшихся для анализа ИИБ.

Вероятность же того, что s -й (по порядку поступления) случайный СИБ не будет СИБ s -го уровня какого-либо ИИБ, определяется формулой (17):

$$\overline{P_{h,s}} = 1 - P_{h,s} = 1 - \frac{n_{q_1} + n_{q_2} + \dots + n_{q_{h_s}}}{N}. \quad (17)$$

Для подсчета вероятностей наступления ИИБ по результатам анализа СИБ на 1-м, 2-м, ..., s -м, ... уровнях с использованием формул (10), (14), (16) вычисляются следующие выражения:

$$P_1 = 1 - P_{h_1}, \quad (18)$$

$$P_2 = 1 - P_{h_1} P_{h_2}, \quad (19)$$

...

$$P_s = 1 - P_{h_1} P_{h_2} \dots P_{h_s}. \quad (20)$$

...

В случае, если P_i ($i = 1, 2, \dots, s, \dots$) в (18)–(20) будет больше некоторых пороговых значений (например, $P_i \geq 0,6$; $P_i \geq 0,8$), то ПАОД генерирует сигнал оповещения о предупреждении тревоги и необходимо выполнить соответствующие защитные действия.

Заключение

Методика аналитической обработки распределенных во времени ИИБ, рассмотренная в статье, позволяет повысить вероятность обнаружения ИИБ за счет ретроспективного анализа СИБ, распределенных во времени, а также своевременно предупредить о возможном наступлении ИИБ за счет прогнозирования его появления, что в свою очередь приводит к повышению безопасности информационных систем. Тем самым, в отличие от существующей модели корреляции СИБ, сокращено время обнаружения ИИБ.

Литература

1. *Бейтлич Р.* Практика мониторинга сетевой безопасности: понимание обнаружения и реагирования на инциденты. Сан-Франциско: Нет Страх Пресс, 2013.
2. *Ермакова А.Ю.* Разработка методов прогнозирования на примере анализа средств вычислительной техники // Промышленные АСУ и контроллеры. 2017. № 1. С. 28–34. ISBN1561–1531.
3. *Заркумова-Райхель Р.Н., Абденов А. Ж.* Прогнозирование количества инцидентов в системе информационной безопасности предприятия при помощи динамической модели // Фундаментальные исследования. 2012. № 6–2. С. 429–434. URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=30007> (дата обращения: 26.02.20).
4. Патент RU2017109 914. Способ устройство для иерархического анализа данных на основе взаимной корреляции / Чиану Ч.Ч., Линь Ц.Ч., Чань Т.М., Цзы Ю. Заявл. 27.18.2015, опубл. 03.10.2018. Бюл. № 28. 2 с.
5. *Зюзин А.С.* Современные тенденции оценки защиты информации // Научный журнал КубГАУ. 2015. № 107(03). URL: <http://ej.kubagro.ru/2015/03/pdf/35.pdf> (дата обращения: 15.06.2020).
6. *Каширин И.Ю., Семченков С.Ю.* Интерактивная аналитическая обработка данных в современных OLAP системах // Бизнес-информатика. 2009. № 2 (08). С. 12–19
7. *Коноваленко С.А., Королев И.Д.* Выявление уязвимостей информационных систем // Инновации в науке. 2016. № 9(58). С. 12–20.
8. *Михальченко С.В.* Анализ источников событий и определение наиболее значимых событий для мониторинга информационной безопасности // Международный студенческий научный вестник. 2018. № 2. URL: <http://eduherald.ru/ru/article/view?id=18335> (дата обращения: 07.04.2020).
9. Патент 166348 РФ. Устройство корреляции событий информационной безопасности / Марков А.С., Цирлов В.А., Фадин А.А., Титов А.В., Марков Г.А. Заявл. 01.08.2016, опубл. 20.11.2016. Бюл. № 32. 5 с.
10. Патент 180789 РФ. Устройство аудита информационной безопасности в автоматизированных системах / Таразевич Е.С., Володина Н.И., Рыжов Б.С., Киселев В.В. Заявл. 31.10.2017, опубл. 22.06.2018. Бюл. № 18. 10 с.
11. Патент 186198 РФ. Средство обнаружения вторжений уровня узла сети / Зайков А.В., Душа И.Ф., Залькарнаев Р.Ф., Фесенко С.Д. Заявл. 07.03.2018, опубл. 11.01.2019. Бюл. № 2. 5 с.
12. Патент 2610395 РФ. Способ расследования распределенных событий компьютерной безопасности / Гайнов А.Е., Заводцев И.В. Заявл. 24.12.2015, опубл. 09.02.2017. Бюл. № 4. 15 с.
13. *Попов В.И., Королев И.Д., Ларионов В.А.* Анализ проблематики системы управления информацией и событиями безопасности в информационных системах // Инновации в науке. 2018. № 12 (88). С. 19–26.
14. *Попов В.И., Королёв И.Д., Санджиев М.С., Коноваленко С.А., Розанов К.И.* Исследование комплексной open source системы управления безопасностью (OSSIM) // Сборник научных трудов XXXVIII всероссийской научно-технической

конференции «Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем»/ ФГКВУ ВО «Военная академия ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого». Серпухов, 2019. Ч. III. С. 77–81.

15. Попов В. И., Королев И. Д., Ларионов В. А., Литвинов Е. С. Обзор SIEM-систем: проприетарные ArcSight и Maxpatrol против open-source решений // Дневник науки. 2019. № 4. С.1–12. URL: http://dnevniknauki.ru/images/publications/2019/4/technics/Korolev_Popov_Larionov_Litvinov.pdf (дата обращения: 07.04.2020).

ANALYTICAL TREATMENT TECHNIQUE DISTRIBUTED DURING INFORMATION SECURITY INCIDENTS IN TIME

IGOR D. KOROLEV

Krasnodar, Russia, pi_korolev@mail.ru

VLADIMIR I. POPOV

Krasnodar, Russia, ya28vip@mail.ru

SERGEY A. KONOVALENKO

Krasnodar, Russia, konovalenko_rcf@mail.ru

KEYWORDS: methodology; information security incident; information security event; warning detection system and elimination of the consequences of computer attacks.

ABSTRACT

The process of analytical processing of information security incidents has several drawbacks described in this article. A structural model of the subsystem of analytical data processing of the monitoring system of a threat to the information security of the objects of critical information infrastructure is built and the process of its functioning is described. Based on probability theory, a process is described for predicting the occurrence of an information security incident in advance, due to both random and independent information security events, and a targeted attack on information resources. The subject of the article is the methodology of analytical processing of information security events in the monitoring system, a threat to the information security of critical information infrastructure facilities. The purpose of the article is to increase the likelihood of detecting an information security incident by retrospectively analyzing information security events distributed over time, and to timely warn of a possible occurrence of an information security incident by predicting its occurrence, which in turn leads to an increase in the security of information systems. Thus, in contrast to the existing model of correlation of information security events, to reduce the time

of detection of an information security incident in a given time interval. The research methodology allows us to solve two related but different tasks: “accounting problem” and “probabilistic problem”. Within the framework of the “accounting task”, the solution boils down to one goal – to determine the proportion of the occurrence of an information security incident at various levels of its occurrence. As part of the solution of the “probabilistic problem”, the methodology determines the probability of an information security incident on the basis of an accidental receipt of information security event chains at the entrance. The research results allow us to eliminate the shortcomings of existing systems for detecting computer attacks, such as distributed over time, and also to apply the developed methodology to create advanced tools for automated systems that can function stably under conditions of conducting distributed time attacks of computer attacks.

REFERENCES

1. Beitlich R. *Practice of Network Security Monitoring: Understanding Incident Detection and Response*. San Francisco: No Strach Press,



2013. 376 p.

2. Ermakova A. Yu. Development of forecasting methods on the example of the analysis of computer technology. *Industrial ACS and controllers*. 2017. No. 1. Pp. 28-34. (In Rus)

3. Zarkumova-Raikhel R.N., Abdenov A. Zh. Forecasting the number of incidents in the enterprise information security system using a dynamic model. *Fundamental Research*. 2012. No. 6-2. Pp. 429-434. URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=30007> (date of access: 02/26/2020). (In Rus)

4. Pat. 2107109914 RF. Method device for hierarchical data analysis based on cross-correlation / Chiau Ch. Ch., Lin Ts. Ch., Chan TM, Zi Y. Declared 27.18.2015, publ. 03.10.2018. Bul. No. 28. 2 p. (In Rus)

5. Zyuzin A.S. Modern trends in the assessment of information security. *Scientific journal of KubSAU*. 2015. No. 107(03). URL: <http://ej.kubagro.ru/2015/03/pdf/35.pdf> (date of access: 15.06.2020). (In Rus)

6. Kashirin I. Yu., Semchenkov S. Yu. Interactive analytical data processing in modern OLAP systems. I. Yu. Kashirin, S. Yu. Semchenkov. *Business Informatics*. 2009. № 2 (08). Pp. 12-19. (In Rus)

7. Konovalenko S.A., Korolev I.D. Identification of vulnerabilities of information systems. *Innovations in Science*. 2016. No. 9 (58). Pp. 12-20. (In Rus)

8. Mikhachenko, S.V. Analysis of event sources and identification of the most significant events for information security monitoring. *International student scientific bulletin*. 2018. No. 2. URL: <http://eduherald.ru/ru/article/view?id=18335> (date of access: 04/07/2020). (In Rus)

9. Pat. 166348 RF. Correlation device for information security events / Markov A.S., Tsirlov V.A., Fadin A.A., Titov A.V., Markov G.A. Declared 01.08.2016, publ. 20.11.2016. Bul. No. 32. 5 p. (In Rus)

10. Pat. 180789 RF. Information security audit device in automated systems / Tarazevich ES, Volodina N.I., Ryzhov B.S., Kiselev V.V. Declared 31.10.2017, publ. 22.06.2018 Bul. No. 18. 10 p. (In Rus)

11. Pat. 186198 RF. Intrusion detection tool at the network node level / Zaykov A.V., Dusha I.F., Zalkarnaev R.F., Fesenko S.D. Declared 07.03.2018, publ. 11.01.2019 Bul. No. 2. 5 p. (In Rus)

12. Pat. 2610395 RF. Method of investigation of distributed computer security events / Gainov A.E., Zavodtsev I.V. Declared 12.24.2015, publ.02.09.2017. Bul. No. 4. 15 p. (In Rus)

13. Popov V.I., Korolev I.D., Larionov V.A. Analysis of the problems of information management and security events in information systems. *Innovations in Science*. 2018. № 12 (88). Pp. 19-26. (In Rus)

14. Popov V.I., Korolev I.D., Sandzhiev M.S., Konovalenko S.A., Rozanov K.I. Research of an integrated open source security management system (OSSIM). *Collection of scientific papers of the XXXVI-II All-Russian Scientific and Technical Conference "Problems of the Efficiency and Safety of Functioning of Complex Technical and Information Systems"*, FGKVU VO "Peter the Great Military Academy of Strategic Missile Forces". Serpukhov, 2019. Pt. III. Pp. 77-81. (In Rus)

15. Popov V.I., Korolev V.A., Larionov E.S., Litvinov E.S. SIEM systems overview: proprietary ArcSight and Maxpatrol versus open-source solutions. *Science Diary*. 2019. No. 4. Novosibirsk, 2019. URL: http://dnevniknauki.ru/images/publications/2019/4/technics/Korolev_Popov_Larionov_Litvinov.pdf (date of access: 04/07/2020). (In Rus)

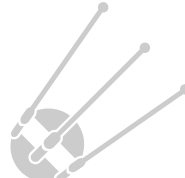
INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Korolev I.D., PhD, Full Professor, Professor of the Department of Information Security with Special Methods and Means, Krasnodar Higher Military School

Popov V.I., postgraduate student of the Krasnodar Higher Military School;

Konovalenko S.A., Lecturer at the Department of Information Security using special methods and means of the Krasnodar Higher Military School.

For citation: Korolev I.D., Popov V.I., Konovalenko S.A. Analytical treatment technique distributed during information security incidents in time. *H&ES Research*. 2020. Vol. 12. No. 5. Pp. 53-61. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-5-53-61 (In Rus)





doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-5-62-73

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ТЕСТИРОВАНИЯ УЯЗВИМОСТЕЙ В КОРПОРАТИВНЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ НЕЙРО-НЕЧЁТКИХ АЛГОРИТМОВ

ЛОБАНЕВА
Екатерина Ивановна¹

ЛАЗАРЕВ
Алексей Игоревич²

АННОТАЦИЯ

На современном этапе развития технологий информационные системы в корпоративных масштабах получают все большее распространение. Корпоративные системы включают в себя иерархический набор сервисов и служб, постоянно подвергающихся внутренним изменениям конфигурации программно-аппаратной составляющей всего комплекса. Помимо прочего, система может представлять собой концепцию интернета-вещей, совмещающую в себе не только основные устройства, но и дополнительные устройства для организации удобства функционирования взаимодействия конечного пользователя. Такой комплекс за счёт вносимых изменений подвергается постоянным угрозам с точки зрения информационной безопасности, так как наличие ошибки даже в отдельном компоненте может привести к наличию уязвимости, позволяющей получить несанкционированный доступ ко всей системе, а как следствие - несанкционированный доступ к информации и управление целевым объектом. Для изучения таких систем на предмет наличия уязвимостей предлагается разработать информационный продукт, позволяющий автоматизировать процесс поиска и эксплуатации уязвимостей во всей инфраструктуре сети и последующего составления отчётности по различным критериям. Разрабатываемый продукт предназначается для операционной системы семейства Unix, и предполагается в использовании на специализированных операционных системах типа Kali Linux, Parrot Sec, Nethunter и т.д. Рассматривая сегмент корпоративной сети, предполагается организовать поиск уязвимостей за счёт введения нейро-нечётких алгоритмов, осуществляющих поиск по нескольким параметрам, а в случае успеха - вложенный поиск в конкретном сегменте. В качестве входных данных для выполнения нечёткого поиска предполагается использовать базу данных уязвимостей от компании Rapid7. Применение такого подхода позволит выявить уязвимость как в отдельном протоколе взаимодействия системы, так и в операционной системе отдельного объекта, которым может выступать коммутатор или сервер. В результате достижения цели планируется получить автоматизированную систему управления фреймворком Metasploit Framework посредством веб-интерфейса, позволяющую специалисту информационной безопасности оперативно устранить выявленные уязвимости.

Сведения об авторах:

¹аспирант кафедры Национального исследовательского университет «Московский энергетический институт», г. Смоленск, Россия, lobaneva94@mail.ru

²студент филиала Национального исследовательского университет «Московский энергетический институт», г. Смоленск, Россия, anonymous.prodtype@gmail.com

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: корпоративная сеть; уязвимость; тестирование на проникновение; сегмент сети; нечёткие алгоритмы.

Для цитирования: Лобанева Е.И., Лазарев А.И. Автоматизация процесса тестирования уязвимостей в корпоративных системах на основе нейро-нечётких алгоритмов // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 5. С. 62-73. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-5-62-73

Ведение

На данный момент, приоритет безопасности в XXI веке составляют корпоративные клиенты, так как существующие уязвимости в корпоративном сегменте могут подвергать атакам и предоставлять несанкционированный доступ не только к отдельным участкам сети, но и к полному предприятию. Ключевым отличием сегмента такой сети является наличие централизованного управления посредством серверного оборудования — в такой сети все устройства связаны между собой для организации удобства работы и управления. Прежде всего, необходимо понимать, что, злоумышленник, получив доступ к целевому шлюзу и серверному оборудованию, получает доступ ко всей сети [1]. Таким образом, можно сказать, что проблема выявления критических угроз в современном мире информационных технологий стоит на первом месте. Для решения данной проблемы предлагается разработать программный продукт, предназначенный для автоматизации поиска и эксплуатации уязвимостей в определённом участке сети с целью создания отчётов для их устранения [2]. В основу программного продукта планируется интеграция протокола терминального доступа ssh и дополнительного модуля php-ssh2, предназначенного для удобного взаимодействия с пользователем в процессе работы с разрабатываемым модулем [3].

Особенностью разработки данного продукта является возможность работы на мобильных процессорах ARM, что позволяет осуществлять поиск и выявления уязвимостей как на мобильных устройствах под управлением OS Android, так и на одноплатных компьютерах, например,

Raspberry Pi [4,5]. Таким образом, в качестве основного языка для разработки ПО был выбран язык программирования Python.

Основная часть

Исследование различных информационных систем в современном мире осуществляется при помощи специализированных программных средств, такие средства представляют собой набор программного обеспечения для поиска и эксплуатации уязвимостей с целью нахождения методов их устранения. В качестве популярно используемых программных средств можно выделить программное обеспечение Nmap и его ответвление с графической оболочкой — Zenmap [6]. Данное программное обеспечение входит в раздел средств, служащих для получения информации об устройствах и их программных компонентах в сети.

Nmap позволяет выполнить сканирование сегмента IP-адресов с возможностью выбора различных параметров. Данный инструмент используется в первую очередь для определения установленных операционных систем, запущенных служб и сервисов на хосте [7]. В качестве входных параметров выступает целевой IP-адрес и специфичный набор параметров сканирования, а в качестве выходных — массив данных с заголовком исследуемой сети и набор обнаруженных параметров. В графическом интерфейсе интерфейс программы Zenmap выполнено сканирование сети, в качестве целевого IP-адреса выступает «192.168.1.1/24». Также на рассматриваемом рисунке видно, что была обнаружена операционная система Windows 7 с IP-адресом «192.168.1.16» (рис. 1).

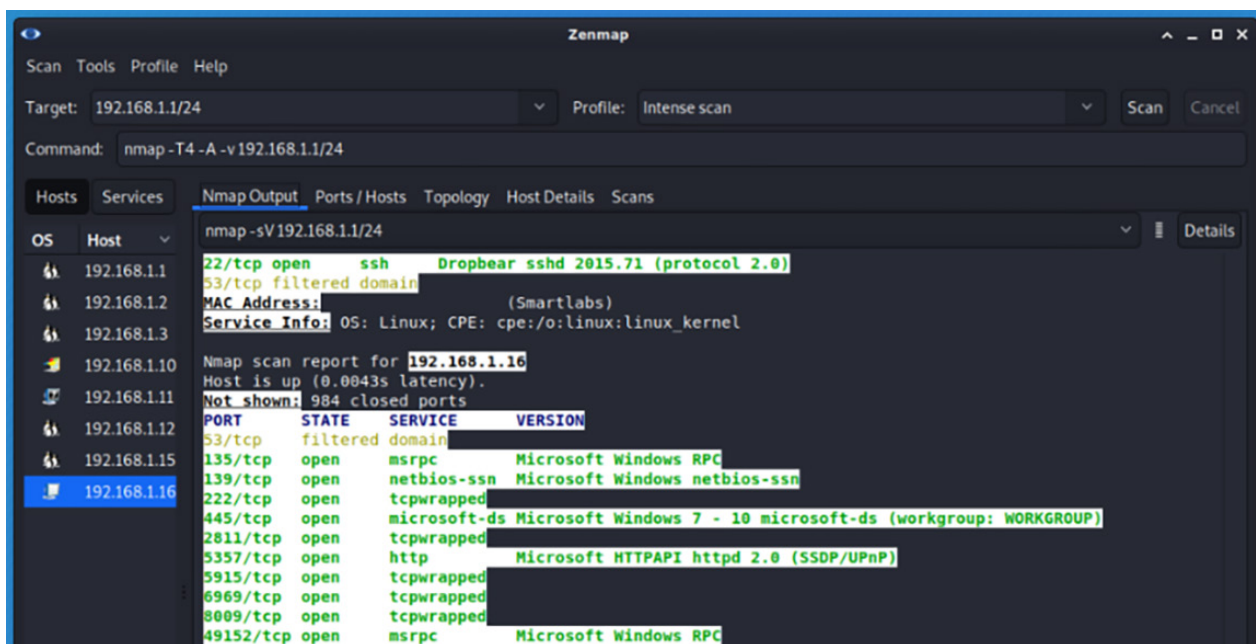


Рис. 1. Программный интерфейс ПО Zenmap

При использовании терминального режима предлагается использовать парсинг строк для представления строки как входного параметра в виде нечёткого множества. В результате работы нечёткого модуля исходная строка преобразуется в строку, соответственно которая в дальнейшем сравнивается с исходными данными из выборки эксплойтов [8]. Так, рассматривая параметры эксплойтов важно определить ключевые параметры целевой ОС–MAC-адрес, IP-адрес, наличие открытых портов и запущенных служб.

На данном этапе предлагается введение нечёткой логики ввиду того, что решение данной проблемы при помощи описания алгоритмической составляющей в простом виде невозможно [9]. Разрабатываемая модель должна обеспечивать оптимизацию процесса принятия решений на основе базы знаний. В основе такой модели заложен принцип применения нейронных сетей, так как именно они позволяют выполнить автоматическое преобразование исходных данных в базу знаний. Внедрение нейросетевых технологий в процесс решения задач подобного типа позволит сравнивать как известные параметры с их исходными значениями, так и выполнять прогнозирование исхода применения таких параметров в процессах тестирования на проникновение.

Рассматриваемую нечёткую логику в данном случае можно представить как интеграцию гибридной нейронной системы, так как в процессе реализации программного продукта предполагается использовать систему нечётких правил в основе которых заложен принцип нейронной сети. В данном случае, применение гибридной системы позволит также формировать отчёт по наличию уязвимостей на основе нечёткой информации. Структура нечёткого модуля представляет собой фаззификатор, блок нечёткого вывода и дефаззификатор.

Для рассматриваемой модели предлагается использование нечёткой логической информации, которая представляет собой выходной параметр сканирования сети, например, входным параметром модели может являться строка вида «95.63.173.34 B8: E5:51:14: CD: B9 Windows Server 2019 \n 96.63.173.34 3389 tcp Microsoft Remote Desktop Service». На этапе фаззификации значение входного параметра приводится в нечёткое множество. Исходя из данной строки алгоритм позволяет определить целевую ОС, открытый порт и службу, расположенную на данном порте. С другой стороны — использование базы знаний позволит обучать систему на основе результатов предыдущих сканирований. Так, каждое последующее сканирование позволит выполнять более точную оценку результатов.

Далее выполняется обработка поиска уязвимости, или эксплойта в базе данных Rapid7. Для взаимодействия с входными параметрами предлагается использование эксплойтов, доступных в Metasploit Framework. Metasploit Framework — фреймворк, позволяющий осуществлять по-

иск и эксплуатацию уязвимостей в конкретной системе по различным параметрам [10–12]. Данный продукт включает в себя базу данных о существующих уязвимостях, набор модулей для разработки собственных эксплойтов, а также модули для организации пост эксплуатации системы [13]. Для разработчиков Metasploit предоставляет API взаимодействия — RPC API. При помощи данного API предполагается тестирование уязвимости и дальнейший вывод отчёта, который будет выступать выходными параметрами обучаемой модели.

Рассматривая базу данных Rapid7, можно сказать, что количество уязвимостей для устройств разных типов процессоров возрастает с каждым днём. Среди типов уязвимостей выделяют:

- dos, представляет собой атаку с применением массива мощностей для доведения рабочих станций до состояния отказа. В данном состоянии целевое устройство становится уязвимым для более гибких уязвимостей.

- local, данный тип уязвимостей требует прямого доступа к целевому устройству. Такой тип целесообразно применять, если у атакующего лица есть права управления устройством.

- remote, таковой тип уязвимостей является наиболее гибким в применении, так как он требует лишь доступ к целевому устройству из внешней сети, например доступ по домену к службе удалённых рабочих столов.

- webapps, представляет собой тип атак на веб-приложения. Данный тип атак позволяет проводить тестирование уязвимостей в системах, написанных на языке php.

Таким образом можно выделить алгоритм работы проектируемого программного обеспечения в соответствии с разрабатываемой нечёткой моделью (рис. 2).

Как видно из алгоритма выше, на первом этапе программного обеспечения осуществляется сканирование открытых портов и служб рассматриваемой сети. Затем, полученный массив данных подаётся в качестве входных данных в модуль нечёткости, представленный в блоке 2 (рис. 2). Полученный на предыдущем этапе массив вначале выполняет фаззификацию параметров, то есть осуществляет процесс приведения известного значения к нечёткости. В качестве входных параметров в процессе разработки данной системы использовались параметры локального сервера с операционной системой Microsoft Windows Server 2019, в качестве IP-адреса использовался адрес «192.168.1.100», также были запущены различные службы с наличием некоторых уязвимостей в системе безопасности. Рассматриваемый массив данных подразделяется на несколько диапазонов значений, которые представляются в численном коэффициенте, который соответственно определяет возможность риска несанкционированного доступа к системе. На этапе дефаззификации выполняется преобразование полученного нечёткого множества в точное зна-

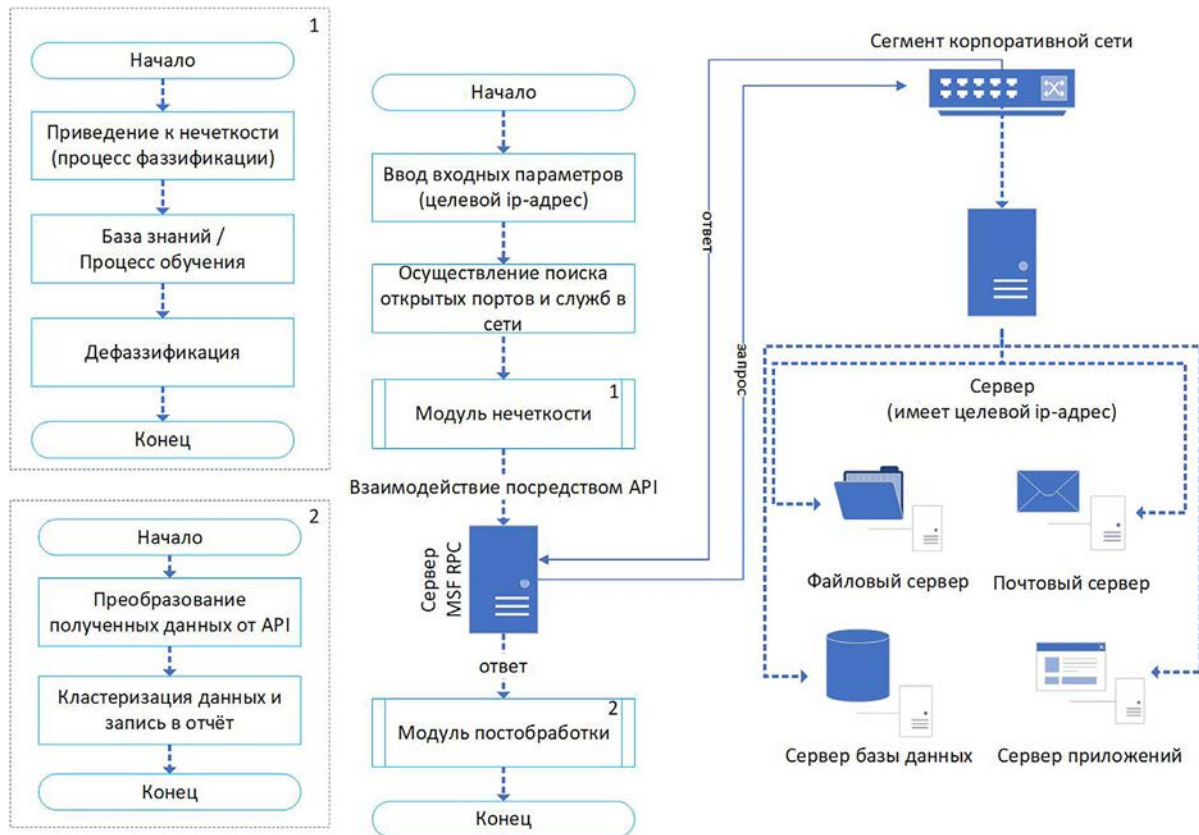


Рис. 2. Структурная схема работы алгоритма

чение — таким образом на выходе получается система нечёткого вывода. В качестве основного вывода применяется метод типа Мамдани [14].

Модель нечёткого модуля была разработана в ПО Fuzzy Logic Designer — модуля ПО Matlab. Также была разработана база нечётких правил, подстроенная под язык программирования, на котором разрабатывается программное обеспечение (python), согласно которой происходит анализ входных данных — параметров системы. Диапазоны значений состоит из результата в процентном соотношении в пределах [0; 100], в результате работы модуля получаем следующие значения результатов совпадения:

- низкий [0–30];
- допустимый [30–80];
- высокий [80–100].

Рассматриваемый результат совпадения напрямую зависит от типа операционной системы, количества открытых портов и запущенных служб. В случае, если количество служб на портах достигает отметки в 10 результатов, то итоговый результат эксплуатации достигает высокого уровня [80–100], если результат в среднем соотношении запущенных служб равен 2–3 и количество открытых портов 3–6, то результат эксплуатации возможно оценить как средний уровень [30–80]. Если количество

служб равно единице и количество открытых портов составляет 1–2, то результат, соответственно, можно оценить как низкий [0–30]. Разделение каналов открытых портов и запущенных служб связано напрямую с тем фактором, что в целях безопасности рекомендуется менять стандартные порты запущенных служб, таким образом, открытый порт может не соответствовать запущенной службе на целевом устройстве.

Для принятия решений о дальнейшей эксплуатации найденных уязвимостей были разработаны следующие нечёткие правила (рис. 3).

Исходя из правил, представленных на рисунке выше, конечная модель проектируемой сети будет иметь следующий вид (рис. 4):

На следующем этапе выполняется взаимодействие выходных параметров нечёткого модуля с средой Metasploit Framework (MSF) посредством Remote Procedure Call (RPC). Application Programming Interface (API) позволяет управлять продуктами Metasploit за счёт использования служб удалённого вызова процедур, в основе которого используется протокол HTTP. RPC представляет собой службу серверного типа, представляемую как набор типов и методов, которые в совокупности представляют интерфейс взаимодействия веб-приложений.

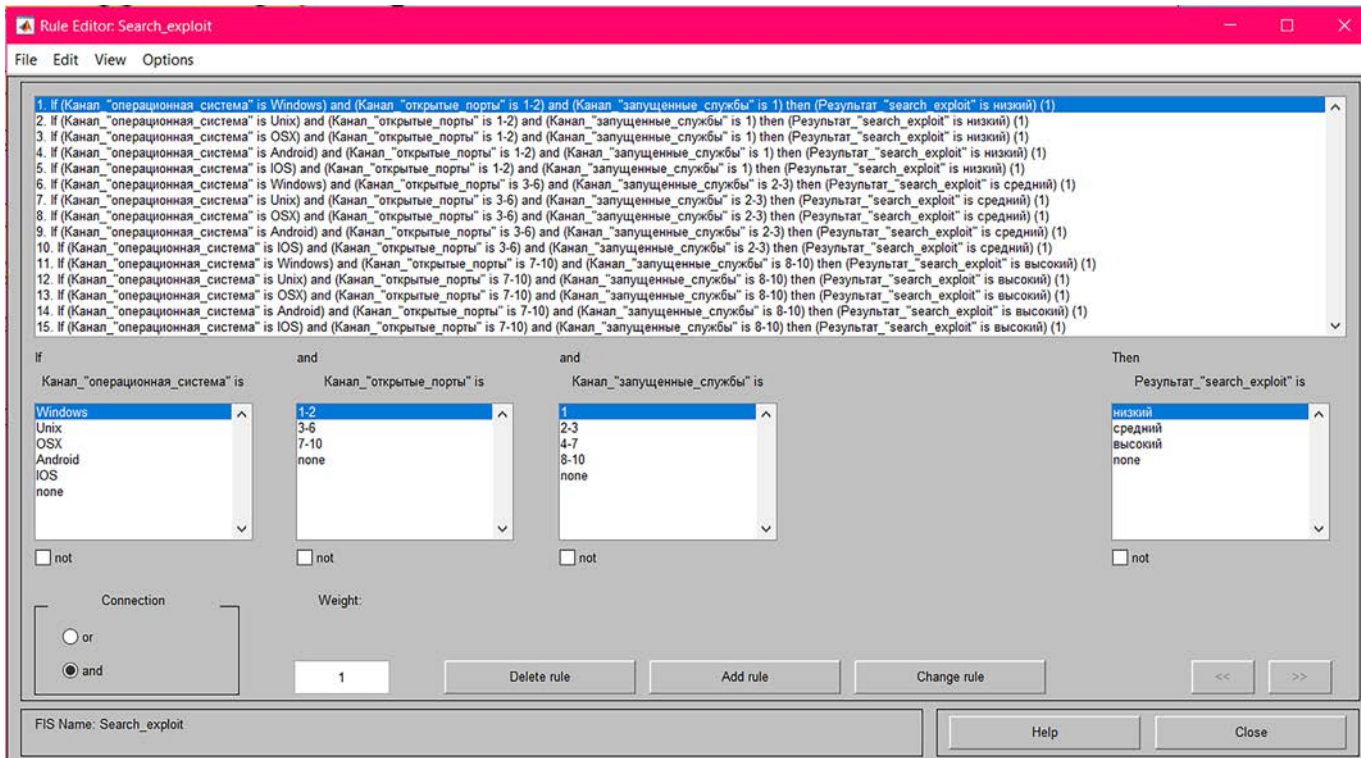


Рис. 3. Набор нечётких правил

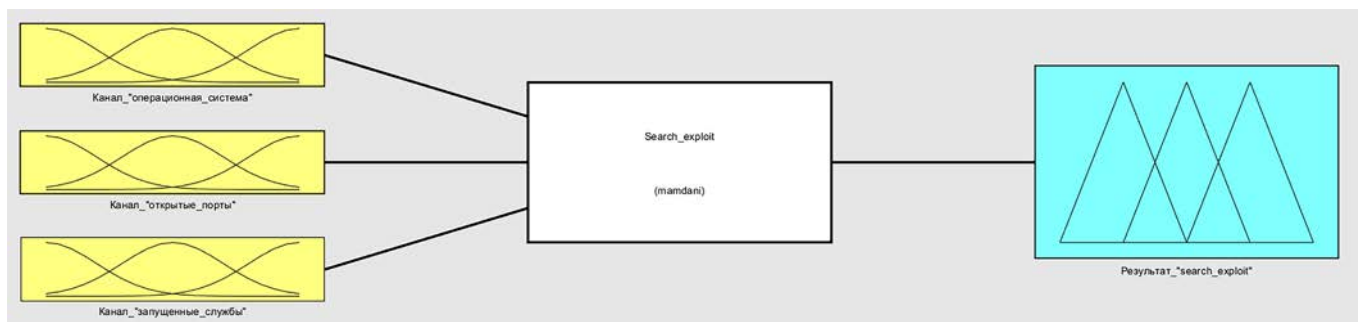


Рис. 4. Модель нечёткого модуля сканирования сети

Данный модуль позволяет работать как в локальной, так и в удалённой среде и выполнять ряд задач, среди которых можно выделить запуск модулей, работа с сессиями, базами данных и отчётами.

В данном случае, сервер MSF RPC получает входные параметры об эксплуатируемой уязвимости, а затем выполняет поиск совпадений в базе данных, и в случае найденного совпадения — выполняет эксплуатацию уязвимости на возможность организации несанкционированного доступа. Если в результате запроса от сервера на целевое устройство, например, ПК, эксплойт успешно выполняется, то на сервере Metasploit открывается сессия Meterpreter.

Еще одной особенностью работы рассматриваемого модуля можно выявить возможность удалённого расположения сервера Metasploit Framework RPC. В результате выполнения модуля в отчёт заносится информация о возможной найденной уязвимости и результатах тестирования на реальной модели. Для демонстрации схемы взаимодействия службы Metasploit RPC предлагается рассмотреть схему, изображённую ниже (рис. 5).

Модуль Metasploit Framework RPC в качестве заголовка подразумевает ввод следующих параметров выполнения эксплойта:

- наименование эксплойта;

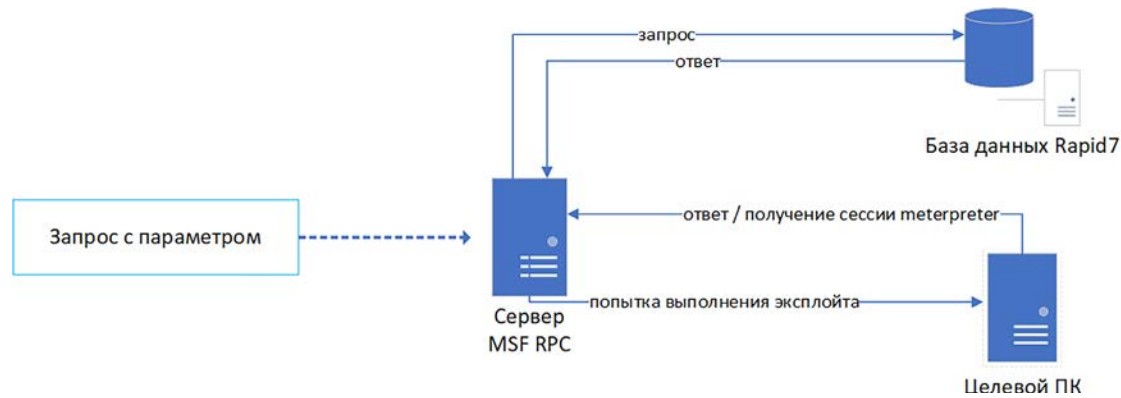


Рис. 5. Структурная схема работы модуля Metasploit Framework RPC

- целевой хост;
- дополнительные параметры.

Для тестирования работоспособности системы был разработан модуль, который передаёт параметры сканирования сети в модуль msfvenom. MSFvenom — утилита из состава программного продукта Metasploit Framework, которая включает в себя стандартизированный инструмент для проведения тестирования на проникновение. Рассмотрим работу данного модуля на предмет наличия уязвимых устройств в сегменте сети:

1. Выполняется поиск доступных устройств с параметрическими данными.
2. Выполняется парсинг результатов xml в формат поиска эксплойтов в базе данных.
3. Результат выполнения предыдущей команды преобразуется в строку генерации полезной нагрузки и выполняемого эксплойта.
4. Выполняется запуск полезной нагрузки, ожидающей открытия сессии meterpreter.
5. Результат ответа сессии meterpreter заносится в соответствующую базу знаний и выполняется формирование отчёта.

Тестирование разрабатываемого модуля производилось с мобильного устройства на платформе OS Android с установленной системой Nethunter и набором модулей Metasploit Framework [15]. Также была проверена работоспособность модуля на одноплатном компьютере Raspberry Pi под управление Raspbian OS. Для примера модуль эксплуатации был протестирован в уязвимой корпоративной сети — в данном случае применялся модуль эксплуатации уязвимости сетевого оборудования [16]. Наличие таковой уязвимости позволило получить доступ сразу к определённому сегменту сети. Тестируемым оборудованием выступал роутер D-LINK DIR-645. В результате выполненного анализа был определён IP адрес терминала. На рисунке ниже представлена схема входа в систему посредством веб-интерфейса для изменения конфигурации терминала

(рис. 6). Как видно из схемы, после ввода конфиденциальных данных, программная составляющая роутера отправляет запрос к файлу конфигурации, в котором хранится пароль администратора. Важным примечанием является то, что стоит различать права входа в роутер, так как учётная запись администратора не всегда позволяет изменять все настройки роутера, в тоже время пароль, хранящийся в конфигурационном файле, позволяет полностью контролировать функциональность терминала.

На следующем этапе был определена ключевая уязвимость, именуемая как «D-Link authentication.cgi Buffer Overflow». Данная уязвимость позволять выполнить экспорт настроек устройства в локальное хранилище. Исходя из данной уязвимости представляется возможным получить пароль администратора, так как в данной модели терминала он сохранён в незашифрованном виде. Таким образом, в результате работы разработанного модуля был получен файл настроек. Для наглядного восприятия работы разрабатываемого модуля прогресс выполнения условно был разделён на несколько подпроцессов, представленных терминалами — поиск устройств в сегменте, анализ возможных уязвимостей по исходным данным, применение найденной уязвимости (рис. 7).

В результате определения модели роутера, программный модуль выполнил успешный поиск уязвимости, которая впоследствии была эксплуатирована — таким образом был получен доступ к системе распределения портов, и соответственно, в корпоративном сегменте данный доступ позволяет в дальнейшем получить доступ к другим устройствам по различным протоколам прямого доступа к терминальной оболочке или графическому интерфейсу посредством ssh, vnc, rdp, или доступ к файловому серверу при помощи протоколов ftp, smb, nfs. В результате тестирования программного модуля были выявлены некоторые закономерности для обеспечения корректной работы с роутерами, так как в реализуемом примере количество портов не играет роли — работоспособность эксплойта

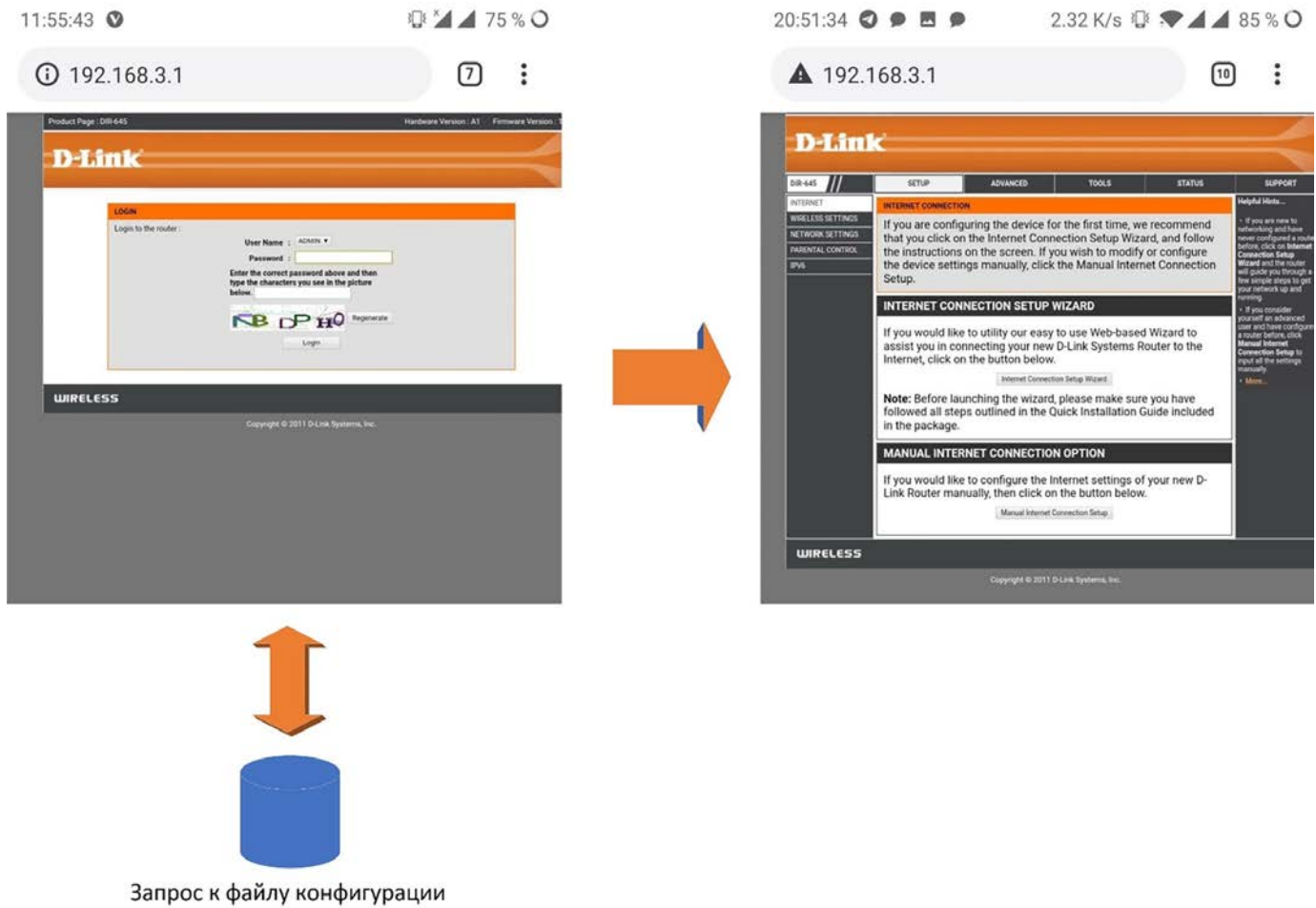


Рис. 6. Схема входа в панель администратора целевого терминала

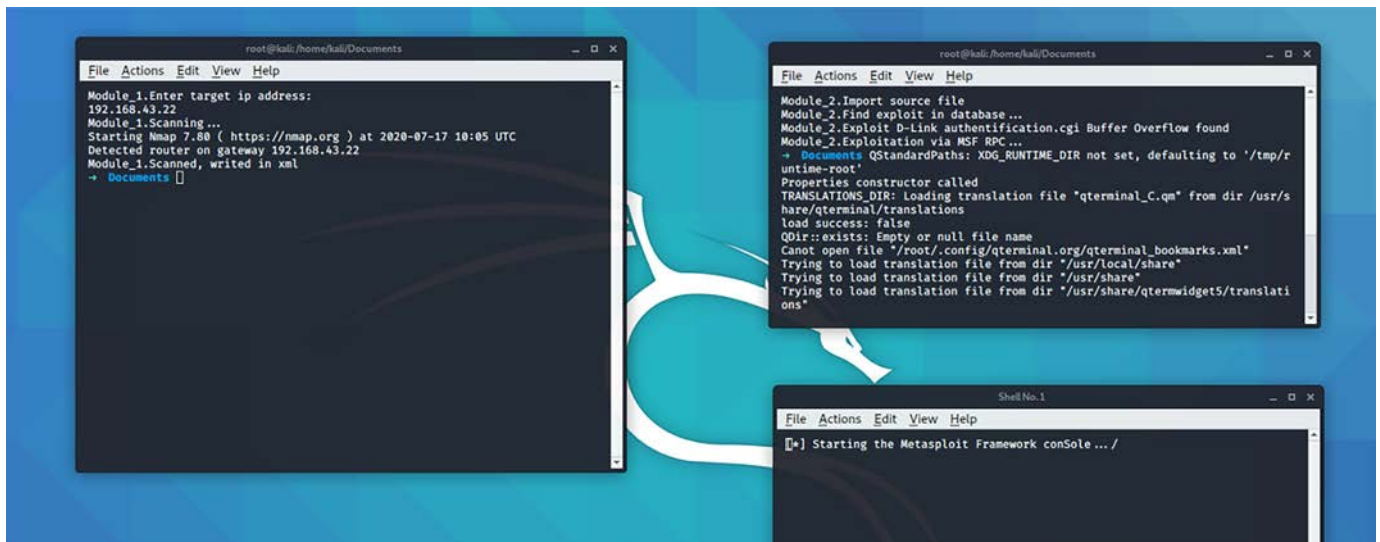


Рис. 7. Условная работа разрабатываемого модуля



в данном случае обеспечивалась за счёт одного порта, 80 (http), на котором расположена веб-служба управления терминалом. В результате тестирования в модель нечёткой логики был интегрирован новый флаг «router» и ряд правил для обеспечения корректного взаимодействия с сетевым оборудованием.

На завершающем этапе выполняется обработка полученных результатов от службы удалённого вызова процедур — за счёт API организуется вывод результатов в процентном сообщении о найденных уязвимостях и формируется отчёт в виде веб-страницы. Для автоматизации взаимодействия модуля с пользователем был разработан веб-интерфейс, который позволяет выполнять анализ сегмента сети, выполнять соответствующие запросы к базе данных пользователей и производить тестирование целевой системы на наличие уязвимостей.

Веб-интерфейс взаимодействия представляет собой среду, расположенную на сервере MSF RPC, и содержит набор основных компонентов для взаимодействия с пользователем:

- страница dashboard содержит основные статусные параметры, по которым пользователь может определить версию фреймворка Metasploit, статус запущенных служб в системе;
- страница exploit содержит главное меню разрабатываемого модуля, пользователю предлагается ввести основной параметр поиска — целевой ip адрес;

– страница report отображает отчётность по выполненным задачам пользователя.

На странице Dashboard расположены основные элементы управления сервисами системы и разрабатываемого модуля, также приведена краткая статистика по наличию выявленных угроз в системе. Среди основных управляемых сервисов можно выделить сервисы Metasploit, веб-сервер и сервисы управления дополнительными режимами программного модуля — расширенный режим и автоматический анализ уязвимостей при помощи нейронных сетей (рис. 8). При проектировании веб-интерфейса использовался модуль php-ssh2, так как при помощи данного модуля целесообразно реализовать управление терминальными командами по протоколу ssh [17]. Основное взаимодействие с терминальной оболочкой осуществляется за счёт отправки соответствующей команды в фоновый процесс терминала — например, для запуска одно из сервисов, представленных на изображении, ниже используется команда типа «service nginx start».

На странице Exploit представлено основное меню управления основным функционалом разрабатываемого модуля. Вкладка Auto Exploitation предполагает автоматический поиск и анализ уязвимостей на основе выбранных параметров — сетевого интерфейса и целевого IP адреса. Также пользователю доступно несколько автоматизированных команды — поиск уязвимости, тестирование и сброс параметров. Для удобства пользователю предлага-

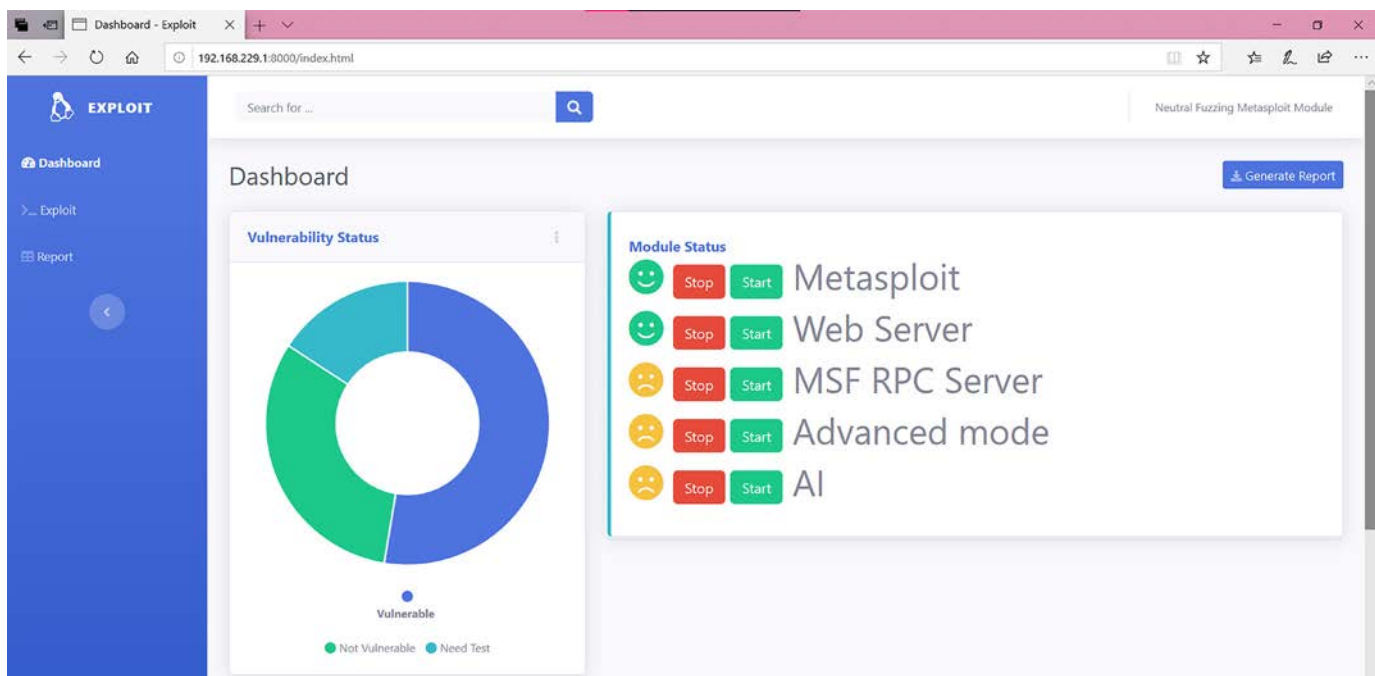


Рис. 8. Веб-интерфейс управления. Страница Dashboard

ется как самостоятельный ввод сетевого интерфейса, так и получение доступных на основе вывода команды терминала (рис. 9).

Вкладка Advanced Exploitation предполагает возможность задания дополнительных целевых параметров, например, если известны такие параметры как целевой порт или рассматриваемая уязвимость, то пользователь их может задать для выполнения целевого тестирования. Также была добавлено ещё одно поле param для ввода дополнительных

параметров, например, дополнительного порта или специфичной полезной нагрузки (рис. 10). Помимо прочего на данной странице была интегрирована система логирования действий — так аудитор сможет наблюдать за состоянием Metasploit и общим прогрессом выполнения задачи.

Следующий модуль необходим для просмотра подборок отчётов по найденным уязвимостям. В данном случае пользователю предоставляется подробная информация о наименовании уязвимости, системной директории

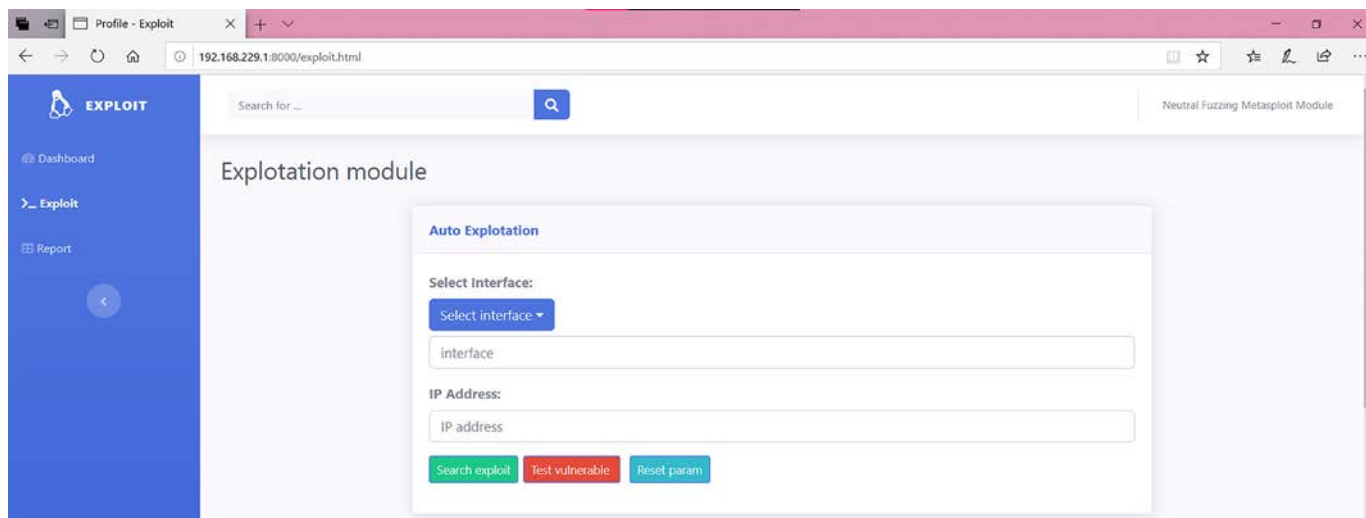


Рис. 9. Веб-интерфейс управления. Страница Exploit – Auto Exploitation

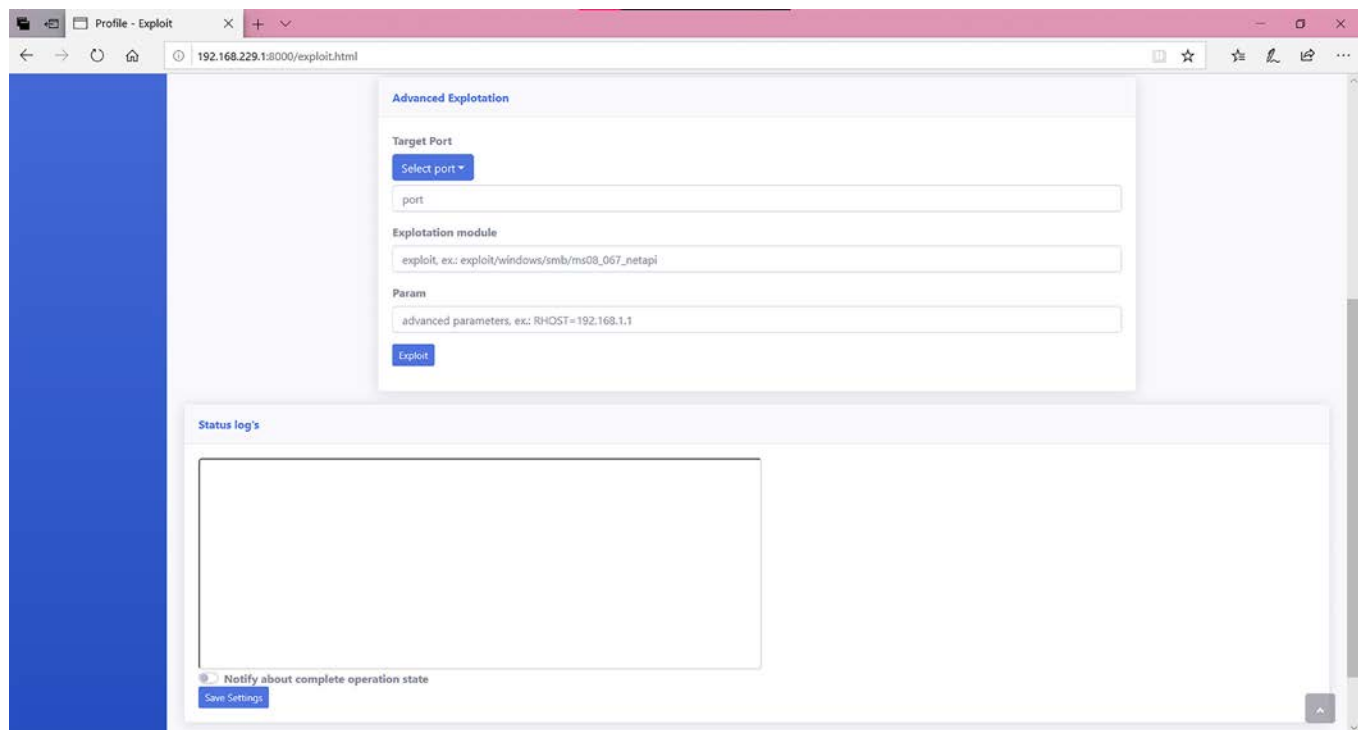


Рис. 10. Веб-интерфейс управления. Страница Exploit – Advanced Exploitation & Status log's

её использования, статус — является ли уязвимость применимой в целевой системе, используемый порт уязвимости, дата и статус применения (рис. 11). Также пользователю доступна сортировка и поиск уязвимостей по различным параметрам.

Помимо прочего, в веб-панели управления пользователю предоставляется возможность настройки параметров сетевого адреса — данный подход применим, если сервер MSF RPC доступен по доменному имени.

Также, в веб-интерфейсе реализована система настройки параметров удалённого доступа к требуемым службам. Использование такого подхода является целесообразным, так как позволяет разместить веб-интерфейс управления на рабочем устройстве, и удалённо управлять службами Metasploit Framework RPC, запущенными на сервере.

Заключение

Таким образом в результате написания программного модуля для автоматизации процесса тестирования на проникновение был выявлен новый подход при проектировании системы — интеграция нейро-нечётких технологий, позволяющих автоматизировать прогресс работы отдельных функций системы, в которых отсутствует наличие чётких входных параметров. Применение разработанных правил в системе моделирования нечётких сетей Fuzzy Logic Designer позволило в дальнейшем интегрировать их в раз-

рабатываемый модуль. Также использование нечётких правил позволило определить уровни эксплуатации целевого устройства за счёт использования базы данных Rapid7.

Подводя итог можно сказать, что в результате разработки ПО были изучены методы взаимодействия веб-интерфейсов — программный модуль php-ssh2 позволяет при помощи интерпретатора использовать различные функции для выполнения идентификации по протоколу SSH, выполнять различные команды на сервере, а также получать массив выходных данных, что позволяет фиксировать изменения в отдельных процессах системы на уровне веб-интерфейса. В результате разработки модуля было выявлено, что использование нейронных технологий и веб-интерфейса при автоматизации процессов в прикладном программном обеспечении позволяет упростить удобство их применения. Также было выявлено, что при разработке стоит учитывать мультиплатформенность разрабатываемого программного обеспечения, так как набор используемых в работе модулей совместим с процессорами на архитектуре ARM, соответственно, возможен запуск программного модуля и веб-оболочки на портативных устройствах.

Литература

1. Doug L. Networking All-in-One For Dummies. United States: For Dummies, 2018. 992 p.

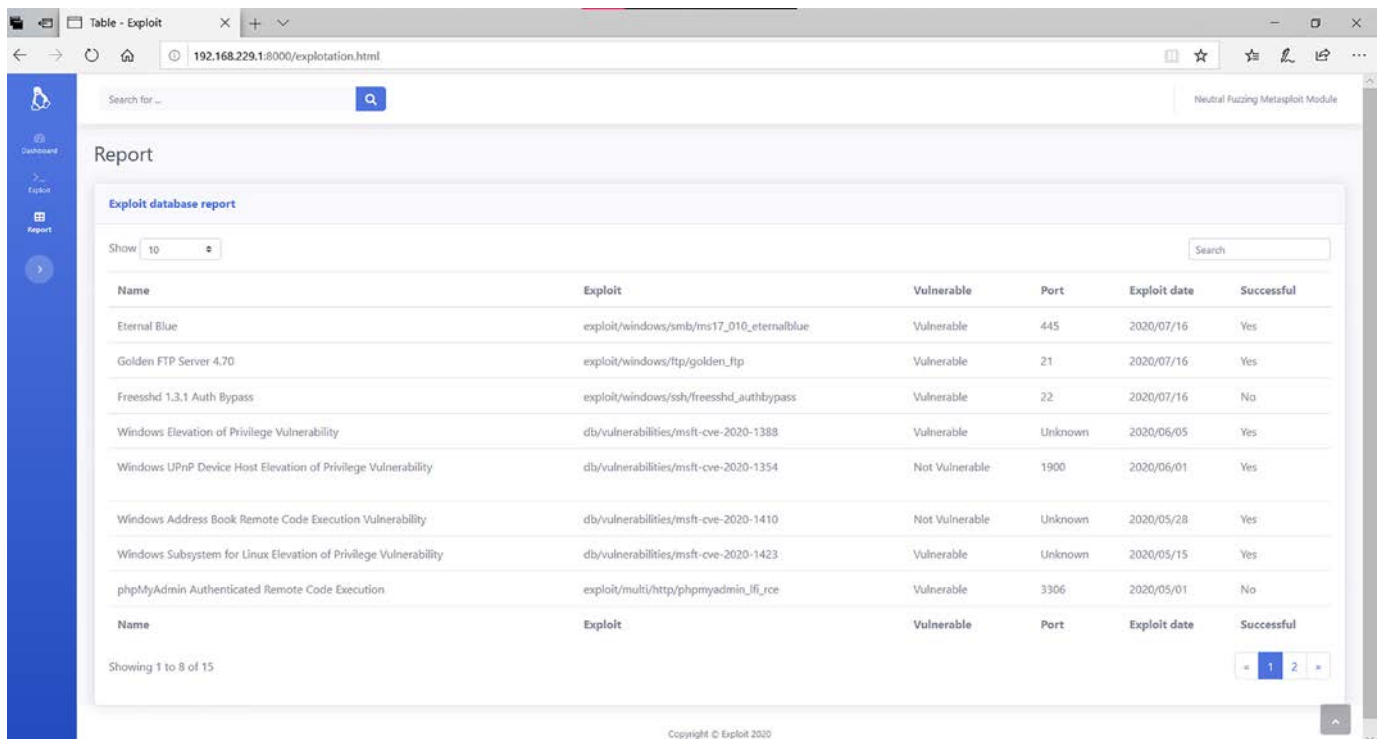


Рис. 11. Веб-интерфейс управления. Страница Report

2. *Vijay K.V, Robert B.* Mastering Kali Linux for Advanced Penetration Testing: Secure your network with Kali Linux 2019.1 — the ultimate white hat hackers' toolkit. 3rd ed. Birmingham: Packt, 2019. 548 p.
3. *Robin N.* Learning PHP, MySQL & JavaScript: With jQuery, CSS & HTML5 (Learning PHP, MYSQL, Javascript, CSS & HTML5). 5th ed. Newton: O'Reilly Media, 2018. 832 p.
4. *Derek M.* Exploring Raspberry Pi: Interfacing to the Real World with Embedded Linux. 1st ed. Hoboken: Wiley, 2016. 720 p.
5. *Андрюанов В.И., Юркин Д.В., Стасюк В.В.* Разработка пентест лаборатории // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2019. № 4. С. 56–64.
6. *Paulino C.* Nmap: Network Exploration and Security Auditing Cookbook — Second Edition: Network discovery and security scanning at your fingertips. 2nd Revised ed. Birmingham: Packt Publishing, 2019. 416 p.
7. *Sairam J., Sagar R.* Securing Network Infrastructure: Discover practical network security with Nmap and Nessus 7. Birmingham: Packt Publishing, 2019. 538 p.
8. *Hamza M.* Penetration Testing with Shellcode: Detect, exploit, and secure network-level and operating system vulnerabilities. Birmingham: Packt Publishing, 2018. 538 p.
9. *Мелихова О.А., Гайдуков А.Б., Джамбинов С.В., Чумичев В.С.* Методы поддержки принятия решений на основе нейронных сетей // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 9–1. С. 52–59.
10. *Glen D.* Learn Kali Linux 2019: Perform powerful penetration testing using Kali Linux, Metasploit, Nessus, Nmap, and Wireshark. Birmingham: Packt Publishing, 2019. 550 p.
11. *Sagar R.* Metasploit 5.0 for Beginners: Perform penetration testing to secure your IT environment against threats and vulnerabilities. 2nd ed. Birmingham: Packt Publishing, 2020. 246 p.
12. *Nipun J.* Metasploit Bootcamp: The fastest way to learn Metasploit. Birmingham: Packt Publishing, 2017. 230 p.
13. *Красов А.В., Штеренберг С.И., Москальчук А.И.* Методология создания виртуальной лаборатории для тестирования безопасности распределенных информационных систем // Вестник Брянского государственного технического университета. 2020. № 3 (88). С. 38–46.
14. *Sebastian R., Vahid M.* Python Machine Learning — Second Edition: Machine Learning and Deep Learning with Python, scikit-learn, and TensorFlow. 2nd ed. Birmingham: Packt Publishing, 2017. 622 p.
15. *Glen D., Sean-Philip O.* Hands-On Penetration Testing with Kali NetHunter: Spy on and protect vulnerable ecosystems using the power of Kali Linux for pentesting on the go. 1st ed. Birmingham: Packt Publishing, 2019. 459 p.
16. *Jordan K.* Mastering Windows Server 2019: The complete guide for IT professionals to install and manage Windows Server 2019 and deploy new capabilities. 2nd ed. Birmingham: Packt Publishing, 2019. 524 p.
17. *Дэвид С.* Изучаем PHP 7. Руководство по созданию интерактивных веб-сайтов. М.: Вильямс, 2017. 464 с.

AUTOMATION OF VULNERABILITY TESTING PROCESS IN CORPORATE SYSTEMS FOR BASIC NEURO-FUZZY ALGORITHMS

EKATERINA I. LOBANEVA

Smolensk, Russia, lobaneva94@mail.ru

ALEXEY I. LAZAREV

Smolensk, Russia, anonymous.proddject@gmail.com

KEYWORDS: corporate network; vulnerability; penetration testing; network segment; fuzzy algorithms.

ABSTRACT

At the current stage of technology development, information systems on a corporate scale are becoming more and more widespread. Corporate systems include a hierarchical set of services and services that are constantly subject to internal changes in the configuration of the software and hardware component of the entire complex. Among other things, the system may represent a concept of Internet Things, combining not only the main devices, but also additional devices to organize the convenience of the end user interaction. Such a complex is subject to constant threats from the point of view of information security due to the changes made, since the presence of an error even

in a separate component can lead to the presence of a vulnerability that allows to get an unauthorized access to the whole system, and as a result – unauthorized access to information and management of the target object. To study such systems for vulnerabilities, it is proposed to develop an information product that would allow to automate the process of searching and exploitation of vulnerabilities in the whole network infrastructure and subsequent reporting on various criteria. The product under development is intended for the operating system of the Unix family and is intended for use on specialized operating systems such as Kali Linux, Parrot Sec, Nethunter, etc. Considering a



corporate network segment, it is assumed to organize a search for vulnerabilities by introducing neutrally fuzzy algorithms that search for several parameters and, if successful, nested search in a particular segment. The Rapid7 vulnerability database is supposed to be used as the input data to perform fuzzy searches. This approach will allow to identify vulnerabilities both in a separate system interaction protocol and in the operating system of a separate object, which may be a switch or server. As a result, it is planned to obtain an automated management system for the Metasploit Framework through a web interface, allowing the information security specialist to quickly eliminate the identified vulnerabilities.

REFERENCES

1. Doug L. *Networking All-in-One For Dummies*. United States: For Dummies, 2018. 992 p.
2. Vijay K.V, Robert B. *Mastering Kali Linux for Advanced Penetration Testing: Secure your network with Kali Linux 2019.1 – the ultimate white hat hackers' toolkit*. 3rd ed. Birmingham: Packt, 2019. 548 p.
3. Robin N. *Learning PHP, MySQL & JavaScript: With jQuery, CSS & HTML5 (Learning PHP, MySQL, Javascript, CSS & HTML5)*. 5th ed. Newton: O'Reilly Media, 2018. 832 p.
4. Derek M. *Exploring Raspberry Pi: Interfacing to the Real World with Embedded Linux*. 1st ed. Hoboken: Wiley, 2016. 720 p.
5. Andrianov V.I., Yurkin D.V., Stasyuk V.V. Development pentest laboratories. *H&ES Research*. 2019. Vol. 11. No. 4. Pp. 56-64. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10279 (In Russian)
6. Paulino C. *Nmap: Network Exploration and Security Auditing Cookbook – Second Edition: Network discovery and security scanning at your fingertips*. 2nd Revised ed. Birmingham: Packt Publishing, 2019. 416 p.
7. Sairam J., Sagar R. *Securing Network Infrastructure: Discover practical network security with Nmap and Nessus 7*. Birmingham: Packt Publishing, 2019. 538 p.
8. Hamza M. *Penetration Testing with Shellcode: Detect, exploit, and secure network-level and operating system vulnerabilities*. Birmingham: Packt Publishing, 2018. 538 p.
9. Melihova O.A., Gajdukov A.B., Dzhambinov S.V., Chumichev V.S. Metody podderzhki prinjatija reshenij na osnove nejronnyh setej [Methods for decision support based on neural networks]. *Aktual'nye problemy gumanitarnyh i estestvennyh nauk*. 2015. No. 9-1. Pp. 52-59. (In Rus)
10. Glen D. *Learn Kali Linux 2019: Perform powerful penetration testing using Kali Linux, Metasploit, Nessus, Nmap, and Wireshark*. Birmingham: Packt Publishing, 2019. 550 p.
11. Sagar R. *Metasploit 5.0 for Beginners: Perform penetration testing to secure your IT environment against threats and vulnerabilities*. 2nd ed. Birmingham: Packt Publishing, 2020. 246 p.
12. Nipun J. *Metasploit Bootcamp: The fastest way to learn Metasploit*. Birmingham: Packt Publishing, 2017. 230 p.
13. Krasov A.V., Sterneberg S.I., Moskalchuk A.I. Metodologija sozdanija virtual'noj laboratorii dlja testirovanija bezopasnosti raspredelennyh informacionnyh system [Methodology for creating a virtual laboratory for testing the security of distributed information systems]. *Vestnik Brjanskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*. 2020. No. 3 (88). Pp. 38-46. (In Rus)
14. Sebastian R., Vahid M. *Python Machine Learning – Second Edition: Machine Learning and Deep Learning with Python, scikit-learn, and TensorFlow*. 2nd ed. Birmingham: Packt Publishing, 2017. 622 p.
15. Glen D., Sean-Philip O. *Hands-On Penetration Testing with Kali NetHunter: Spy on and protect vulnerable ecosystems using the power of Kali Linux for pentesting on the go*. 1st ed. Birmingham: Packt Publishing, 2019. 459 p.
16. Jordan K. *Mastering Windows Server 2019: The complete guide for IT professionals to install and manage Windows Server 2019 and deploy new capabilities*. 2nd ed. Birmingham: Packt Publishing, 2019. 524 p.
17. David S. *Learning PHP: A Gentle Introduction to the Web's Most Popular Language*. 1st ed. Newton: O'Reilly Media, 2016. 416 p.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Lobaneva E.I., Postgraduate at the Department of PMII, National Research University Moscow Power Engineering Institute;
Lazarev A.I., Student, Branch of the National Research University Moscow Power Engineering Institute in Smolensk.

For citation: Lobaneva E.I., Lazarev A.I. Automation of vulnerability testing process in corporate systems for basic neuro-fuzzy algorithms. *H&ES Research*. 2020. Vol. 12. No. 5. Pp. 62-73. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-5-62-73 (In Rus)



doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-5-74-82

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ЕДИНОГО КОМПЛЕКСА ОПИСАНИЯ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ЕДИНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

СМИРНОВ

Борис Петрович¹

ЗВЕРЕВ

Александр Борисович²

ЛЕГКОВ

Константин Евгеньевич³

АННОТАЦИЯ

Рассматриваются проблемные вопросы, выявленные при создании Единого информационного пространства специального назначения в современных условиях и требующие оперативного решения в процессе его дальнейшей эксплуатации. Одним из таких вопросов является недостаток квалифицированных специалистов, имеющих навыки работы с пакетами прикладных программ и умеющих грамотно эксплуатировать комплексы средств автоматизации автоматизированных систем управления. Другой проблемой, выявленной в ходе развертывания Единого информационного пространства, стало отсутствие общих методологических основ построения технической основы системы управления и ее элементов. Эта проблема связана с несоответствием технической основы Единого информационного пространства стандартам, которые были применены при создании разнотипных автоматизированных систем. Решение этой проблемы возможно при разграничении функций и задач между органами управления, координируемыми вопросы развития системы управления и информационных систем, научно-исследовательскими организациями, вузами и предприятиями оборонно-промышленного комплекса при разработке и внедрении взаимосвязанной системы стандартов на основе международных и национальных стандартов. В условиях бурного развития информационных технологий возникает необходимость объединения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по совершенствованию технической основы системы управления силами и ее элементов. Кроме того, решение проблемы описания данных в автоматизированных системах управления возможно в рамках отдельной целевой программы группой специализирующихся на указанной проблеме предприятий под руководством Генерального конструктора по информационно-лингвистическому обеспечению, интегрировав под главную целевую функцию проблемы существующих научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию и совершенствованию автоматизированных систем, дополнив их научно-исследовательскими работами в области прикладной лингвистики и психолингвистики, а также опытно-конструкторскими работами по технологиям промышленного обеспечения автоматизированных систем управления машинными массивами «вспомогательной» информации – классификаторов и нормативно-справочной информации, а также норм и нормативов.

Сведения об авторах:

¹ д.т.н., научный руководитель – главный конструктор закрытого акционерного общества «Научно-производственный центр информационных региональных систем», Московская обл., г. Люберцы, Россия, smirnov@npcirs.ru

² генеральный директор закрытого акционерного общества «Научно-производственный центр информационных региональных систем», Московская обл., г. Люберцы, Россия, zverev@npcirs.ru

³ к.т.н., доцент, начальник кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, const@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: комплекс описания данных; информационные технологии; оперативная обстановка; Единое информационное пространство.

Для цитирования: Смирнов Б.П., Зверев А.Б., Легков К.Е. Методика формирования единого комплекса описания данных в системе информационных технологий единого информационного пространства специального назначения // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 5. С. 74–82. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-5-74-82



Введение

При создании Единого информационного пространства (ЕИП) специального назначения (СН) в современных условиях был выявлен ряд проблемных вопросов, требующих оперативного решения в процессе дальнейшей эксплуатации ЕИП. Одним из проблемных вопросов является недостаток квалифицированных специалистов, имеющих навыки работы с пакетами прикладных программ и эксплуатацией комплексов средств автоматизации (КСА) автоматизированных систем управления (АСУ) СН [1].

Другой проблемой методического характера, выявленной в ходе развертывания ЕИП СН, явилось отсутствие общих методологических основ построения технической основы системы управления СН и ее элементов, особенно АСУ. Данная проблема связана, прежде всего, с несоответствием технической основы ЕИП СН стандартам, которые были применены при создании разновидных АСУ. Решение этой проблемы возможно при разграничении функций и задач между органами управления, координирующими вопросы развития системы управления СН и информационных систем СН, научно-исследовательскими организациями, вузами и предприятиями оборонно-промышленного комплекса (ОПК), при разработке и внедрении взаимосвязанной системы стандартов на основе международных и национальных стандартов. В условиях бурного развития информационных технологий возникает необходимость объединения НИР и ОКР (на первых этапах) по совершенствованию технической основы системы управления силами и ее элементов [1–23].

Анализ системы информационных технологий единого информационного пространства специального назначения

При создании ЕИП СН также был выявлен ряд технологических проблем, основными из которых являются [1,3,6]:

- отсутствие взаимодействия на всех уровнях управления, технической и информационной совместимости в разновидных АСУ, которые имеют ярко выраженную стволую архитектуру;

- наличие большого количества различных систем связи и АСУ из состава различных КСА, не увязанных между собой; решение этой проблемы видится последовательной реализацией следующих мероприятий: сопряжение унаследованных систем, поэтапная их модификация и создание новых функциональных подсистем, в результате чего должна быть обеспечена адресность и оперативность предоставления требуемой информации, что позволит сократить численность обслуживающего КСА личного состава и количество средств вычислительной техники на пунктах управления;

- действующие КСА АСУ обеспечивают работу в основном по низкоскоростным цифровым каналам, что поддерживает высокие значения показателей устойчивости управления и безопасности информации, однако ведет к снижению оперативности управления;

- некоторые средства связи и АСУ не в полной мере обеспечивают работу по высокоскоростным цифровым каналам;

Для решения вышеуказанных проблем требуется создать унифицированные цифровые комплексы связи и АСУ, в также возможно использование средств двойного и гражданского назначения, что ведет к более экономному расходованию ресурсов ЕИП СН.

Основными факторами, определяющими необходимость создания единого комплекса описания данных в системе информационных технологий ЕИП СН, являются:

- массовая персональная компьютеризация и лавинообразное увеличение объемов обрабатываемой информации, динамика информационного обеспечения действий войск (сил) и неотвратимость компьютеризации традиционных информационных технологий;

- создаваемые базы и банки данных (БД) должны быть совместимы, в противном случае рвется связь времени и пространство системы управления, источники информации АСУ СН должны сохраняться на всем жизненном цикле системы, их БД должны быть совместимы как с создаваемыми, так и архивируемыми БД в пространстве и времени системы управления;

- персональная компьютеризация, породившая практически неуправляемый процесс создания БД, привела к наличию практически несовместимых массовых БД разрозненных частей АСУ СН, совокупная обработка данных, полученных из разных источников существующих АСУ СН, по вертикали и горизонтали системы сейчас практически недоступна;

- неоднородность АСУ СН: технический прогресс вне автоматизированной системы неуправляем, единственные решения по всем видам обеспечений АСУ недостижимы, а решения по информации должны быть инвариантны к другим видам обеспечений АСУ;

- информация — основа интеграции составных частей АСУ, для интеграции необходимы единые решения по информации;

- интеграция должна строиться на единой методологии и технологии описания данных АСУ СН (множестве моделей, словарей данных, единой системе классификации и кодировании, системе электронных норм и нормативов расчётных задач, единой системе унифицированных форм документов, системе интерфейсов);

- определение состава, структуры, систем кодирования информации, потоков и объемов ее обновления исходя из совместимости БД в пространстве и времени АСУ;

– отображение изменений состава сил в структуре АСУ, её решениях по информации и видам обеспечений (техническому, программному, нормативно-методическому и пр.) сложны, трудоёмки, затратны и требуют наличия хорошо организованного обеспечения со стороны ОПК, необходимы комплексные решения по информационному обеспечению, обеспечивающие адаптацию АСУ к этим изменениям;

– отсутствие единой системы интерфейсов ДЛ системы управления и методология создания единого информационно-лингвистического обеспечения (ИЛО);

– необходимость адаптации системы агрегированных показателей БД учёта АСУ к изменениям окружающей среды, что необходимо не только при взаимодействии, но и, что особенно важно, при противодействии систем (своей и потенциального противника).

Основными факторами, сдерживающими создание единого комплекса описания данных в системе информационных технологий ЕИП СН являются:

– информация до сих пор не стала составной частью понятия «система управления», по-прежнему это только органы, пункты и средства управления без информации;

– информация, накапливаемая в БД АСУ, создаваемых разрозненно, по частям и по разным проектам, не может быть объединена и обработана как единое целое из-за несогласованности её по содержанию, форме, системам представления (кодирования) и решениям по обновлению, в результате главное, ради чего и создаётся АСУ — машинный прогноз состояния и развития обстановки, остаётся недостижимым;

– взаимодействие информационно-вычислительных систем и общение пользователя с ПЭВМ требуют единства как естественного, так и искусственного (машинного) языка;

– до настоящего времени даже на естественном языке нет системы словарей, обслуживающих существующую, неавтоматизированную систему управления;

– в каждой разновидности АСУ своя система языков описания данных, свои лингвистические и семантические решения, никем не согласовываемые и не сопровождаемые и по этой причине несопрягаемые;

– при реорганизации АСУ обслуживаемыми в настоящее время автоматизированными системами, могут и пожертвовать, но в этом случае должны быть сохранены источники информации (банки данных), технологии их ведения и поддержания их в актуальном и совместимом состоянии;

– системы условий, обеспечивающих совместимость и достоверность данных, их электронных массивов, используемых для совокупной обработки, в настоящее время нет, фрагментарные результаты, полученные на от-

дельных направлениях, не увязаны под общую цель и не скоординированы.

Проблема описания данных и обеспечивающие её решение технологии занимают ключевое место в общей проблеме создания ЕИП СН. Решение проблемы описания данных должна унифицировать процессы извлечения информации из среды и представления её по единым правилам в совмещаемых БД АСУ для обеспечения совокупной обработки данных в интересах оценки обстановки, анализа и прогноза.

Решение проблемы описания данных должно предоставить комплексную систему технологий формирования и ведения ЕИП СН через реализацию совместимости и поддержания её БД в актуальном состоянии, их интеграцию в пространстве и времени жизненного цикла АСУ СН на всех уровнях управления, обеспечив, тем самым, требуемые качество и эффективность информационной поддержки процессов управления. Задачи информационной составляющей представлены на рис. 1.

В создании ЕИП СН следует идти от результата, опираясь на совместимые БД АСУ в комплексе всех этапов проведения операции. Эти БД должны формироваться и актуализироваться при повседневной деятельности подразделения.

Принципиально возможны два вида взаимодействия элементов (источников информации) АСУ: массивами на естественном языке (текстовые файлы, содержание (смысл) которых находится в самом файле) и массивами на искусственном языке (файлы БД, содержание (смысл) которых находится вне этих файлов — в мышлении человека).

АСУ СН следует рассматривать, как материальную среду в трёх состояниях: «заполненную» информацией (БД АСУ загружены); «не заполненную» информацией (БД АСУ не загружены); «полуполненную» информацией (БД АСУ не загружены, а базы классификаторов и нормативно-справочной информации — загружены).

Традиционно АСУ создается и вводится в эксплуатацию как материальная среда с не загруженными БД (позиция Заказчика и Разработчика АСУ), загрузка БД — дело пользователя АСУ. Необходимо передать ОПК весь объем работ по созданию АСУ «под ключ» (информация пользователя — за пользователем, технология её загрузки — за ОПК). Рассмотрение информации как единства сущности и формы приводит к видению АСУ, как материальной среды с базами (банками) данных АСУ и банками данных НДКС (где «банк данных» — наполненная информацией БД).

Таким образом, для пользователя АСУ суть совокупность ее банков данных, а для разработчика — совокупность баз данных АСУ, баз и банков данных унифицированных машинных массивов классификаторов,



ЗАДАЧИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ЕИП

1. Разработка понятийного аппарата информационно-лингвистического обеспечения системы
2. Обобщение и анализ задач, решаемых в системе управления, источников их информации, трафика, содержания и темпов её обновления
3. Определение источников информации, её состава, структуры, системы представления и процессов актуализации
4. Определение структурно-функциональной модели АСУ и выявление факторов, как стабилизирующих, так и дестабилизирующих её
5. Определение информационной модели БД единой системы АСУ как совокупности информационных моделей БД её частей и элементов. Анализ содержания и темпов обновления предметной области БД
6. Использование задела по информационно-лингвистическому обеспечению исходя из реалий текущего дня
7. Разработка системы словарей (метаданных, нормативно-правовых, специальных, текстовых и т.д.)
8. Проведение анализа и последующее согласование информационных моделей БД созданных и создаваемых АСУ. Упорядочение применения, разработки и изменения унифицированных форм документов, состава и структуры норм и нормативов для расчётных задач. Создание системы регистрации и ведения унифицированных форм документов
9. Лингвистический и семантический анализ кодируемых через классификаторы атрибутов - признаков объектов информационных моделей БД. Создание системы правил унификации машинных массивов классификаторов и нормативно-справочной информации, норм и нормативов
10. Создание единой системы классификации и кодирования в АСУ, технологии промышленного создания, ведения, изготовления, поставки и обновления машинных массивов классификаторов и нормативно-справочной информации системы, электронных норм и нормативов
11. Разработка (создание) ведомственных и системных классификаторов и нормативно-справочной информации
12. Изучение и анализ норм и нормативов для расчётных задач, содержания и темпов их обновления. Создание системы правил унификации машинных массивов норм и нормативов, технологии их создания, внедрения и обновления. Создание электронных версий норм и нормативов
13. Анализ содержания и темпов обновления нормативно-правовой базы. Разработка правил и технологии адаптации системы к изменениям нормативно-правовой базы
14. Изучение и анализ отчётных документов, унифицированных форм документов, содержания, объёма и темпов их изменения. Выработка рекомендаций по выбору инструментальных средств оперативной генерации новых форм документов, их тиражирования и последующего внедрения на объектах. Создание системы унифицированных форм документов
15. Анализ психофизиологических особенностей восприятия информации человеком в системе. Разработка рекомендаций для реализации системы интерфейсов, в первую очередь, в режиме реального времени системы
16. Выбор характеристик и моделирование вариантов системы, определение критериев оценки их эффективности, выбор лучшего варианта системы при многофакторных условиях моделирования
17. Разработка рекомендаций по технологии создания, внедрения, поддержания в работоспособном состоянии и развития системы в интервале её жизненного цикла
18. Разработка промышленной технологии создания и ведения унифицированных машинных массивов классификаторов и нормативно-справочной информации (КНСИ) для АСУ военного и гражданского назначения

Рис. 1. Задачи информационной составляющей ЕИП

нормативно-справочной информации, словарей. Такой подход приводит к смене технологии создания АСУ. Необходимо проектирование не только баз данных, но и увязанных с ними баз данных унифицированных машинных массивов КНСИ. До передачи АС пользователю для загрузки баз данных АС, базы данных классификаторов и нормативно-справочной информации (КНСИ) уже должны быть загружены. Такая технология может быть разработана только исходя из концепции ЕИП и АСУ как совокупности знаний, данных и процессов их взаимодействия, каждого в своей структуре времени.

Это требует единства ИЛО АСУ, наличия технологии создания и поддержания его в достоверном состоянии, причем, еще до начала разработки специального программного обеспечения (СПО). Разработку ИЛО нужно начинать одновременно с СПО и иметь его к моменту испытаний СПО. Необходимо наличие самостоятельной АС ведения унифицированных машинных массивов (УММ) КНСИ. Автоматизированная подсистема информационного обеспечения АСУ должна создаваться параллельно с другими системами, но упреждающе по отношению к функциональным подсистемам (рис. 2).

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ЕИП

1. Информация первична, всё остальное – вторично
2. Описание данных – ключевая часть информационно-телекоммуникационного комплекса создания автоматизированной среды управления
3. Единая система – всегда интегрированная система. Интеграция должна строиться на единой методологии и технологии описания данных автоматизированных систем – составных частей АСУ
4. Решения по информации и описанию данных должны быть отечественные. Базовые защищённые компьютерные технологии не должны отставать от технического прогресса, обеспечивать совместимость версий систем управления базами данных (СУБД) и операционных систем (ОС) и перенос уже эксплуатируемого специального программного обеспечения
5. Информационное обеспечение АСУ развиваться, а не переделываться
6. Необходимо единство в понимании сторонами (заказчиком, пользователем и разработчиком) значения и места информации в автоматизируемой системе управления, её источников, темпов и порядка обновления, девиации целевой функции и т.д.
7. Информация – ядро и основа интеграции АСУ. Для интеграции нужна единая нормативно-методическая база
8. Для достижения целостности АСУ в ней должно быть единство решений по составу, структуре, системам представления данных и технологиям их изменения и хранения
9. Необходима единая система систем унифицированных форм документов интегрируемых АСУ

Рис. 2. Основные принципы создания ЕИП



Методика формирования единого комплекса описания данных

Методику создания комплекса описания данных в ЕИП СН можно представить следующей последовательностью действий [1,2]:

1) создание межвидового банка моделей и её составных частей; системы словарей метаданных и словарей данных; единой системы классификации и кодирования и единой системы норм и нормативов (включая, сами КНСИ, нормы и нормативы); технологий их централизованного ведения, изготовления, поставки и обновления; комплекса систем унифицированных форм документов; технологий поддержания в работоспособном состоянии и развития системы описания данных АСУ СН;

2) создание современной модели применения сил. Задача сложная, но решаемая по частям. За основу следует взять алгоритм операции. Моделируются этапы операции. Под каждую модель и их совокупность строится ИЛО, исходя из совместимости баз и банков данных, опосредуемых через информацию, наполняющую их на всех этапах операции;

3) создание системы словарей метаданных и словарей данных составных частей и, в целом, единой АСУ СН;

4) построение подсистемы создания, ведения и поддержания в актуальном состоянии ЕИП СН, через автоматизацию процессов создания, ведения, формирования, хранения, представления, поддержания в актуальном состоянии унифицированных машинных массивов КНСИ, электронных норм и нормативов. При этом радикально решается проблема защиты данных БД АСУ при обмене ими по каналам связи, поскольку КНСИ по каналам связи не передаются — они есть и одинаковы у адресата и адресанта. Система не может оправдать своё предназначение, если её части живут по разным правилам и на разной информации;

5) создание машинных массивов КНСИ, норм и нормативов расчётных задач. Только КНСИ для решения проблемы информационного обеспечения АСУ недостаточно. Необходима методология извлечения информации из среды и описания данных в АСУ. Это относится как к внешне-машинной, так и внутримашинной БД;

6) соблюдение всеми требований к составу, структуре информации, её источникам, порядку и времени представления на всех предшествующих этапах операции, а также в месте постоянной дислокации воинской части ещё до получения задачи на операцию. Естественный язык имеет специализацию по областям знаний и видам деятельности. Для работы с ПЭВМ необходим перевод со специального (специализированного) языка человека (естественного языка) на искусственный (машинный) язык машины и обратно. Язык АСУ СН язык описания данных, должен представлять собой единство специализированных машинных языков входящих (взаимодействующих)

в АСУ СН систем. Сейчас в каждой автоматизированной (и неавтоматизированной) системе — свой язык, никакого управления и координации деятельностью по их созданию и применению нет;

7) создание системы унифицированных форм документов, включая технологию их генерации и ведения;

8) создание системы поддержания в работоспособном состоянии самой системы описания данных;

9) создание единого ИЛО ЕИП СН. ИЛО предлагается вести с позиций создания ЕИП, как совокупности сведений, данных и процессов взаимодействия между ними.

Основными этапами создания комплекса описания данных в системе информационных технологий ЕИП СН являются:

На первом этапе — внедрение технологии промышленного централизованного создания, ведения, изготовления, поставки и обновления КНСИ как информационных изделий россыпью или базовыми комплектами (комплексами). Поскольку при решении поставленной задачи в совокупности возникают нормативно-методические, правовые, программные и другие вопросы, результат может быть достигнут только при наличии в АСУ СН автоматизированной системы (подсистемы), обеспечивающей по единым правилам промышленное создание, ведение, изготовление, поставку и сопровождение КНСИ, а также массивов изменений к ним в технологиях ЕИП АСУ СН. Использовать, как единую для всех подсистем ЕСУ ТЗ, уже созданную подсистему создания и ведения унифицированных машинных массивов КНСИ, электронных норм и нормативов.

На втором этапе — разработка системы моделей тактического и оперативно-тактического уровня иерархии, как повседневной деятельности, так и применения сил. Разработка понятийного аппарата ИЛО системы, системы словарей метаданных и словарей данных под разработанные модели войск, а именно: словарь специальных терминов, словарь специальных терминов, используемых в АСУ СН, словарь технологий БД АСУ, словарь аббревиатур информационных технологий АСУ, а также стандартов: «Терминология. Принципы и методы», «Терминология АСУ. Словарь. Теория и применение», «Информация и документация АСУ», «Интерфейсы. Теория и применение», «Система классификации и кодирования. Словарь. Теория и применение» и ряд других. Разработать систему КНСИ, обеспечив их сопровождение, под информационные модели БД, обслуживающих вышеуказанные модели тактического и оперативно-тактического звена войск. Разработка технологии создания и ведения документов системы унифицированных форм документов АСУ СН.

На третьем этапе — разработка технологии создания, ведения и гармонизации электронных норм и нормативов для расчётных задач. Разработать методические материалы по созданию унифицированной системы ин-

терфейсов ДЛ АСУ. Разработать нормативно-правовую базу комплекса описания данных АСУ СН. Обеспечить наращивание и развитие возможностей комплекса описания данных АСУ СН (постоянно). Воссоздать в интересах силовых ведомств инфраструктуру описания данных, развив её исходя из вызовов времени. Учесть результаты технического прогресса и реалии места и времени.

Заключение

Таким образом, решение проблемы описания данных в АСУ СН возможно в рамках отдельной целевой программы группой специализирующихся на указанной проблеме предприятий под руководством Генерального конструктора по ИЛО, интегрировав под главную целевую функцию проблемы существующие НИР и ОКР, дополнив их НИР в области прикладной лингвистики и психолингвистики, а также ОКР по технологиям промышленного обеспечения АСУ СН машинными массивами «вспомогательной» информации — классификаторов и нормативно-справочной информации, а также норм и нормативов.

Литература

1. *Легков К.Е., Оркин В.В.* Основные направления развития единого информационного пространства Воздушно-космических сил в современных условиях // *Военная мысль*. 2020. № 8. С. 47–53.
2. *Басыров А.Г., Легков К.Е.* Метод эвристико-комбинированного решения трудоемких задач в параллельных вычислительных системах реального времени // *T-Comm: Телекоммуникации и транспорт*. 2019. Т. 13. № 3. С. 52–56.
3. *Карпов Е.А., Буренин Н.И., Зюзин Н.А.* Единое информационное пространство: проблемы создания // *Военная Мысль*. 2004. № 8. С. 45–49.
4. *Orkin V.V., Legkov K.E.* Algorithm of selecting procedures of distributed program control by applications flows in the information system in conditions of perturbations // *2018 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, SYNCHROINFO 2018*. 2018. С. 8456942.
5. *Наумов В.В.* Актуальные вопросы построения комплекса моделей и методов информационно-аналитической поддержки системы управления специального назначения // *I-methods*. 2019. Т. 11. № 2. С. 1–9.
6. *Кафланов Р.И., Легков К.Е., Оркин В.В.* Алгоритм формирования плана управления потоками информации в информационной подсистеме автоматизированной системы управления // *Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях: Труды III Межвузовской научно-практической конференции*. 2018. С. 190–194.
7. *Михайлов Р.Л., Поляков С.Л.* Состав и задачи перспективной автоматизированной системы управления средствами технической разведки и радиоэлектронной борьбы // *I-methods*. 2019. Т. 11. № 2. С. 1–9.
8. *Токарев М.С., Негодин Д.В.* К вопросу оптимизации топологической структуры информационной подсистемы автоматизированной системы управления // *I-methods*. 2018. Т. 10. № 1. С. 45–52.
9. *Лебянкин И.А.* К вопросу структурно-параметрического синтеза автоматизированной системы специального назначения // *I-methods*. 2018. Т. 10. № 3. С. 41–47.
10. *Гриценко С.А., Ханов Э.Б., Храмов В.Ю.* Технология автоматизированного проектирования баз данных // *I-methods*. 2018. Т. 10. № 4. С. 58–75.
11. *Житенёв С.А., Хорин Ю.А., Ерыгин А.А., Голубинский А.Н.* Математическое моделирование информационных процессов, протекающих в инфокоммуникационной системе для повышения эффективности контуров управления // *I-methods*. 2018. Т. 10. № 4. С. 32–38.
12. *Легков К.Е., Емельянов А.В.* Моделирование функционирования информационной подсистемы инфокоммуникационной системы специального назначения // *РТИ Системы ВКО — 2016: Труды IV Всероссийской научно-технической конференции*. 2017. С. 119–130.
13. *Буренин А.Н., Легков К.Е.* К вопросу моделирования иерархических систем мониторинга автоматизированных систем управления информационными системами специального назначения // *Технологии информационного общества: Сборник трудов XI Международной отраслевой научно-технической конференции*. 2017. Ч. 1. С. 361–363.
14. *Буренин А.Н., Легков К.Е.* К вопросу моделирования иерархических систем мониторинга автоматизированных систем управления информационными системами специального назначения // *Технологии информационного общества: Сборник трудов XI Международной отраслевой научно-технической конференции*. 2017. Ч. 2. С. 364–366.
15. *Волосенков В.О., Морозов А.В., Бужлаков С.Н., Мажара И.В.* Способ оценивания защищенности информационных ресурсов автоматизированных систем управления специального назначения // *I-methods*. 2019. Т. 11. № 3. С. 1–6.
16. *Буренин А.Н., Легков К.Е.* Метод повышения эффективности функционирования на основе процедур оперативного управления структурой информационных подсистем // *T-Comm: Телекоммуникации и транспорт*. 2017. Т. 11. № 9. С. 48–57.
17. *Меженев А.В., Кретов А.А., Сызранцев В.С.* Обоснование критерия эффективности и показателей качества для оценки устойчивости системы связи и радиотехнического обеспечения в Едином информационном пространстве // *I-methods*. 2019. Т. 11. № 3. С. 1–9.
18. *Буренин А.Н., Легков К.Е., Оркин В.В.* Постановка задачи управления функционированием информационной системы специального назначения // *Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики*. 2017. № 1. С. 92–98.
19. *Чумичкин А.А.* Моделирование автоматизированных систем управления сложными организационно-техническими системами // *I-methods*. 2020. Т. 12. № 1. С. 1–14.
20. *Буренин А.Н., Легков К.Е.* К вопросу мониторинга параметров, характеризующих состояние инфокоммуникационной системы специального назначения // *Технологии информационного общества: Сборник трудов X Международной отраслевой научно-технической конференции*. 2016. С. 211–212.
21. *Вашикс И.И., Евсеенко И.Н.* Лингвистическое обеспечение автоматизированных систем // *I-methods*. 2020. Т. 12. № 1. С. 1–7.
22. *Легков К.Е., Буренин А.Н.* Модели и методы оперативного мониторинга информационных подсистем перспективных автоматизированных систем управления // *Информация и космос*. 2016. № 4. С. 46–60.
23. *Кравченко М.В., Никитин А.С., Спиридонов С.И.* Об унификации обмена данными между разнородными средствами и системами в едином информационном пространстве // *I-methods*. 2020. Т. 12. № 2. С. 1–21.



AUTOMATION OF VULNERABILITY TESTING PROCESS IN CORPORATE SYSTEMS FOR BASIC NEURO-FUZZY ALGORITHMS

BORIS P. SMIRNOV

Moscow region, Lyubertsy, Russia, smirnov@npcirs.ru

ALEXANDER B. ZVEREV

Moscow region, Lyubertsy, Russia, zverev@npcirs.ru

KONSTANTIN E. LEGKOV,

St-Petersburg, Russia, constl@mail.ru

KEYWORDS: data description complex; information technologies; operational environment; Unified information space.

ABSTRACT

The work with the problematic issues identified during the creation of a Single information space for special purposes in modern conditions and requiring prompt solutions in the process of its further operation. One of these issues is the lack of qualified specialists who have the skills to work with application software packages and are able to correctly operate automation systems of automated control systems. Another problem identified during the deployment of the Unified information space was the lack of common methodological foundations for building the technical basis of the management system and its elements. This problem is related to the non-compliance of the technical basis of the Unified information space with the standards that were applied when creating standard automated systems. The solution to this problem is possible when dividing the functions and tasks between the management bodies that coordinate the development of the management system and information systems, research organizations, universities and enterprises of the military-industrial complex in the development and implementation of an interconnected system of standards based on international and national standards. In the conditions of rapid development of information technologies, there is a need to combine research and development work to improve the technical basis of the force management system and its elements. In addition, the solution of the problem of describing data in automated control systems is possible within a separate target program by a group of enterprises specializing in this problem under the guidance of the General designer for information and linguistic support, integrating the problems of existing research and development work on the creation and improvement of automated systems under the main target function, supplementing them with research works in the field of applied linguistics and psycholinguistics, as well as development work on technologies for industrial support of automated control systems for machine arrays of "auxiliary" information-classifiers and reference information, as well as norms and regulations.

REFERENCES

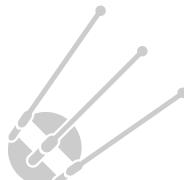
1. Legkov K.E., Orkin V.V. Main directions of development of the unified information space of the Aerospace forces in modern conditions. *Military thought*. 2020. No. 8. Pp. 47-53. (In Rus)
2. Basyrov A.G., Legkov K.E. Method of heuristic-combined solution of labor-intensive problems in parallel real-time computing systems. *T-Comm*. 2019. Vol. 13. No. 3. Pp. 52-56. (In Rus)
3. Karpov E.A., Burenin N.I., Zyuzin N.A. Unified information space: problems of creation. *Military thought*. 2004. No. 8. Pp. 45-49. (In Rus)
4. Orkin V.V., Legkov K.E. Algorithm of selecting procedures of distributed program control by applications flows in the information system in conditions of perturbations. *In the collection: 2018 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, SYNCHROINFO*. 2018. Pp. 8456942. (In Rus)
5. Naumov V.V. Topical issues of building a complex of models and methods of information and analytical support for a special purpose management system. *I-methods*. 2019. Vol. 11. No. 2. Pp. 1-9. (In Rus)
6. Kafanov R.I., Legkov K.E., Orkin V.V. Algorithm for forming a plan for managing information flows in the information subsystem of an automated control system. *In the collection: Problems of technical support of troops in modern conditions. Proceedings of the III Interuniversity scientific and practical conference*. 2018. P. 190-194. (In Rus)
7. Mikhailov R.L., Polyakov S.L. Composition and tasks of a promising automated control system for technical intelligence and electronic warfare. *I-methods*. 2019. Vol. 11. No. 2. Pp. 1-9. (In Rus)
8. Tokarev M.S., Negodin D.V. On optimization of the topological structure of the information subsystem of an automated control system. *I-methods*. 2018. Vol. 10. No. 1. Pp. 45-52. (In Rus)
9. Ledyankin I.A. On the issue of structural and parametric synthesis of an automated system for special purposes. *I-methods*. 2018. Vol. 10. No. 3. Pp. 41-47. (In Rus)
10. Gritsenko S.A., Khanov E.B., Khramov V. Yu. Technology of automated database design. *I-methods*. 2018. Vol. 10. No. 4. Pp. 58-75. (In Rus)

11. Zhitenev S.A., Kharin Yu. a., Erygin A.A., Golubinsky A.N. Mathematical modeling of information processes occurring in the infocommunication system to improve the efficiency of control circuits. *I-methods*. 2018. Vol. 10. No. 4. Pp. 32-38. (In Rus)
12. Legkov K.E., Emelyanov A.V. Modeling of the functioning of the information subsystem of the special purpose infocommunication system. *In the collection: RTI Systems of East Kazakhstan region-2016. Proceedings of the IV all-Russian scientific and technical conference*. 2017. Pp. 119-130. (In Rus)
13. Burenin A.N., Legkov K.E. on the issue of modeling hierarchical monitoring systems for automated control systems for special-purpose information systems. *In the collection: information society Technologies. XI international industrial scientific and technical conference: collection of works*. 2017. Part 1. Pp. 361-363. (In Rus)
14. Burenin A.N., Legkov K.E. on the issue of modeling hierarchical monitoring systems for automated control systems for special purpose information systems. *In the collection: information society Technologies. XI international industrial scientific and technical conference: collection of works*. 2017. Part 2. Pp. 364-366. (In Rus)
15. Volosenkov V.O., Morozov A.V., Bulgakov S.N., Mazhara I.V. Method for evaluating the security of information resources of automated control systems for special purposes. *I-methods*. 2019. Vol. 11. No. 3. Pp. 1-6. (In Rus)
16. Burenin A.N., Legkov K.E. Method for improving the efficiency of functioning based on procedures for operational management of the structure of information subsystems. *T-Comm*. 2017. Vol. 11. No. 9. Pp. 48-57. (In Rus)
17. Mezhenov A.V., Kretov A.A., Syzrantsev V.S. Justification of the efficiency criterion and quality indicators for assessing the stability of the communication system and radio engineering support in a Single information space. *I-methods*. 2019. Vol. 11. No. 3. Pp. 1-9. (In Rus)
18. Burenin A.N., Legkov K.E., Orkin V.V. Setting the task of managing the functioning of a special-purpose information system. *Proceedings of the North Caucasus branch of the Moscow technical University of communications and Informatics*. 2017. No. 1. Pp. 92-98. (In Rus)
19. Chumichkin A.A. Modeling of automated control systems for complex organizational and technical systems. *I-methods*. 2020. Vol. 12. No. 1. Pp. 1-14. (In Rus)
20. Burenin A.N., Legkov K.E. on the issue of monitoring parameters that characterize the state of a special-purpose infocommunication system. *In the collection: information society Technologies. X international industrial scientific and technical conference: collection of works*. 2016. Pp. 211-212. (In Rus)
21. Vashkis I.I., Evseenko I.N. Linguistic support of automated systems. *I-methods*. 2020. Vol. 12. No. 1. Pp. 1-7. (In Rus)
22. Legkov K.E., Burenin A.N. Models and methods of operational monitoring information subsystems perspective of automated control systems. *Information and space*. 2016. No. 4. P. 46-60. (In Rus)
23. Kravchenko M.V., Nikitin A.S., Spiridonov S.I. On the unification of data exchange between heterogeneous means and systems in a single information space. *I-methods*. 2020. Vol. 12. No. 2. Pp. 1-21. (In Rus)

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Smirnov B. P., PhD, scientific supervisor –chief designer Closed joint stock company “Scientific-productional centre information regional systems”;
Zverev A. B., general director Closed joint stock company “Scientific-productional centre information regional systems”;
Legkov K. E., PhD, Docent, head of the Department of space control systems of the Military Space Academy.

For citation: Smirnov B. P., Zverev A. B., Legkov K. E. Methods of forming a single data description complex in the information technology system of a single special-purpose information space. *H&ES Research*. 2020. Vol. 12. No. 5. Pp. 74-82. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-5-74-82 (In Rus)





doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-5-83-91

ПОДХОД К АНАЛИЗУ СОСТОЯНИЯ УЗЛОВ «ИНДУСТРИИ 4.0» НА ОСНОВЕ ПОВЕДЕНЧЕСКИХ ПАТТЕРНОВ

СУХОПАРОВ
 Михаил Евгеньевич¹

СЕМЕНОВ
 Виктор Викторович²

ЛЕБЕДЕВ
 Илья Сергеевич³

ГАРАНИН
 Антон Владимирович⁴

АННОТАЦИЯ

Несовершенство систем контроля и анализа состояния труднодоступных устройств и узлов, связанных с ними динамически протекающих технологических процессов, вызывает необходимость анализа не только «внутренних» данных, но и поступающих по сторонним и внешним каналам. В данной статье рассматривается один из эффективных путей решения данной проблемы при помощи использования оцифрованных последовательностей данных, группируемых в поведенческие паттерны. Анализируемое устройство, как правило, находится вне контролируемой зоны, и доступ к нему ограничен, вследствие чего все протекающие внутри устройств процессы должны быть под постоянным контролем. Изменение температуры, амплитуды и частоты вибраций, звуковых и электромагнитных спектров, снимаемых датчиками и сенсорами при производстве и функционировании отдельных компонент, может говорить о необходимости изменений технологического процесса с целью предотвращения износа, поломок, брака. Таким образом, анализ состояния труднодоступных узлов и устройств «Индустрии 4.0» на основе поступающих данных внешних побочных каналов является актуальной задачей. Суть предлагаемого подхода заключается в получении зависимо-стиколичественных показателей функционирования устройств, узлов инфраструктуры «Индустрии 4.0» для различных режимов работы и дальнейшем использовании полученных данных при решении задачи анализа состояния устройств и узлов инфраструктуры «Индустрии 4.0». Новизной данного исследования является разработка подхода к анализу устройств «Индустрии 4.0», предназначенного для идентификации состояния удаленных и труднодоступных устройств, сочетающего в себе технологии машинного обучения при анализе разнородных внешних данных оцифрованных трасс сигнальных последовательностей, поступающих от различных элементов и объединённых в поведенческие паттерны.

Сведения об авторах:

¹к.т.н., старший научный сотрудник Санкт-Петербургского филиала акционерного общества «НПК «ТРИСТАН», Санкт-Петербург, Россия, sukhoparovm@gmail.com

²младший научный сотрудник лаборатории интеллектуальных систем Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра Российской академии наук, г. Санкт-Петербург, Россия, vksemenov@gmail.com

³д.т.н., профессор, заведующий лабораторией интеллектуальных систем Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия, isl_box@mail.ru

⁴технический директор ООО «Новые технологии», Санкт-Петербург, Россия, anton.v.garanin@yandex.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: анализ состояния; оцифрованные последовательности данных; поведенческие паттерны; технологические процессы; узлы и устройства «Индустрии 4.0».

Для цитирования: Сухопаров М.Е., Семенов В.В., Лебедев И.С., Гаранин А.В. Подход к анализу состояния узлов «индустрии 4.0» на основе поведенческих паттернов // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 5. С. 83-91. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-5-83-91

Введение

Современные устройства «Индустрии 4.0» характеризуются лавинообразным ростом передаваемой информации от различных сенсоров и датчиков, а также повышением интеллектуальности автоматизированных систем управления технологического процесса.

В связи с этим возникает определенное противоречие, где традиционные узко ориентированные системы, использующие протоколы *Modbus*, *Profibus* и *Industrial Ethernet*, не могут угнаться за ростом объема и качества передаваемой сенсорами и датчиками первичной информации, а широко применяемые решения, например на базе *Ethernet*, не обладают достаточным функционалом, обеспечивающим эффективную поддержку сервисам управления реального времени, что вызывает ряд проблемных вопросов обеспечения безопасности, связанных с анализом состояния отдельных устройств.

Увеличение служебных пакетов, появление задержек передачи сообщений между устройствами могут критично влиять на безопасность узлов и протекающих в них процессов «Индустрии 4.0», что обуславливает необходимость анализа состояния устройств [1].

В то же время принятие решения из-за большого числа источников первичной информации усложняется динамически протекающими во времени процессами [2].

Однако большие объемы анализируемой и обрабатываемой информации, передаваемой в таких системах, характеризуются достаточно хорошо формализуемыми данными, что позволяет применять различные методы оценки состояния устройств.

Формальная постановка задачи

В большинстве случаев анализируемое устройство находится вне контролируемой зоны или труднодоступно [3], протекающие процессы устройств и узлов «Индустрии 4.0» должны быть подвержены постоянному контролю и мониторингу [4]. Изменение температуры, амплитуды и частоты вибраций, звуковых и электромагнитных спектров, снимаемых датчиками и сенсорами при производстве и функционировании отдельных компонент, может говорить о необходимости изменений технологического процесса с целью предотвращения износа, поломок, брака [5].

Предполагается, что система получает информацию от ряда источников D (датчиков, сенсоров, внутренних контролируемых элементов):

$$D = \{d_n \mid n = 1, \dots, N\}. \quad (1)$$

От каждого источника поступают кортежи характеристик H , определяющие выполнение дальнейших действий:

$$H = \{h_m \mid m = 1, \dots, M\}. \quad (2)$$

Тогда текущее состояние системы описывается функциональной сетью Z , идентифицирующей набор кортежей от источников:

$$Z = \{h_l \mid l = 1, \dots, K\}, \quad (3)$$

где K — число возможных состояний, которые должны быть проанализированы с целью выявления аномалий.

Пусть Z множество состояний системы, определяемых источниками D и поступающими от них значениями характеристик H . C — множество классов состояний (например, «нормальное» или «аномальное»). Выбрана функция расстояния между объектами $r(z, z')$. Имеется конечная обучающая выборка известных состояний. $Z^k = \{z_1, \dots, z_m\} \in Z$. Необходимо разбить выборку на подмножества, состоящие из состояний, близких по метрике r , т.е. найти функцию $a: Z \rightarrow C$.

На основе функциональной сети определяется текущее состояние, происходит анализ, является ли оно «нормальным» или «аномальным».

Возникает необходимость анализа состояния не только устройств, но протекающих процессов. В большинстве случаев внутренние состояния как устройства, так и процесса недоступны, в связи с этим анализ можно производить на основе внешних характеристик.

Таким образом, анализ состояния труднодоступных мехатронных узлов и устройств «Индустрии 4.0» на основе поступающих данных внешних побочных каналов является актуальной задачей.

Предлагаемый подход

«Индустрия 4.0» — это глобальная сфера в информационном пространстве, представляющая собой взаимосвязанную совокупность инфраструктур и информационных технологий, включая Интернет, телекоммуникационные сети, компьютерные системы, встроенные процессоры и контроллеры, мехатронные элементы [6].

В рамках «Индустрии 4.0» рассматриваются различные устройства, такие как датчики систем управления производством (АСУ ТП, SCADA-системы), программно-аппаратные узлы, элементы, входящие в интернет вещей (Internet of Things), умные дома, вещи, робототехнические системы критического назначения [7] и т.д.

Несмотря на свою разнородность, типовые устройства «Индустрии 4.0» можно рассмотреть в виде отдельных составных частей:

- Прикладное программное обеспечение.
- Операционная система.
- Аппаратная часть.
- Мехатронная часть.

Такое представление позволяет осуществлять анализ групп различных получаемых по внешним каналам



данных [8–12]. Функционирование отдельно взятой части устройства связано с возникновением побочных звуков, вибраций, излучений. В зависимости от выполняемых команд взаимодействия узлов между собой, воздействия внешней среды будут происходить изменения данных, которые можно определить как по внешним, так и по побочным каналам [13; 14]. Для решения различных задач группировка каналов по типам и источникам дает возможность рассмотреть различные поведенческие паттерны, характеризующие, например, состояние, поведение устройства или внешнюю среду [15].

На рис. 1 приведено типовое устройство инфраструктуры.

Мехатронные устройства инфраструктуры «Индустрии 4.0», находящиеся вне контролируемой зоны, подвержены различным внешним и внутренним воздействиям, управляющим командам, технологическим процессам, что будет вызывать изменения данных, получаемых по внешним каналам [16].

В целях анализа предлагается рассмотреть модель признакового пространства внешней идентификации работоспособного состояния устройств инфраструктуры «Индустрии 4.0»:

$$M_p = \langle H_{in}, H_{out}, H_{side} \rangle, \quad (4)$$

где:

- H_{in} — внутренние характеристики, определяемые встроенными модулями устройств сетевой инфраструктуры (интенсивность трафика, вероятности потери пакетов, температура и т. д.);
- H_{out} — внешние характеристики, определяемые датчиками и связанные с механическими действиями (вибрации, координаты устройства и т. д.);

- H_{side} — характеристики, получаемые на основе сигналов побочных каналов при осуществлении функционирования и вычислительного процесса (электромагнитные излучения, акустические излучения, изменения по мощности, напряжения).

Для определения состояния узлов инфраструктуры «Индустрии 4.0» используются разнообразные показатели оценки состояния объекта. В них в качестве характеристик может использоваться амплитуда, частота, энергия и многие другие параметры сигнала [17].

Подход основывается на следующих действиях:

- выбор анализируемых элементов;
- расстановка датчиков на поверхности устройства;
- выбор режима работы, регистрация получаемого сигнала создание обучающей выборки;
- анализ параметров и характеристик сигналов;
- определение состояний информационной системы.

Цель состоит в получении зависимости количественных показателей функционирования устройств, узлов инфраструктуры «Индустрии 4.0» для различных режимов работы. Для этого выполнялся ряд действий:

- перевод системы в требуемый режим работы путем запуска соответствующей программы;
- анализ и оцифровка получаемых данных;
- анализ накопленных статистических данных, перевод системы и ее удаленных устройств в различные режимы с целью накопления статистики.

В дальнейшем используется информация, содержащаяся в структурах получаемых сигналов, сгруппированных в поведенческие паттерны.

В отличие от представленных работ, данное исследование направлено на разработку подхода к анализу устройств

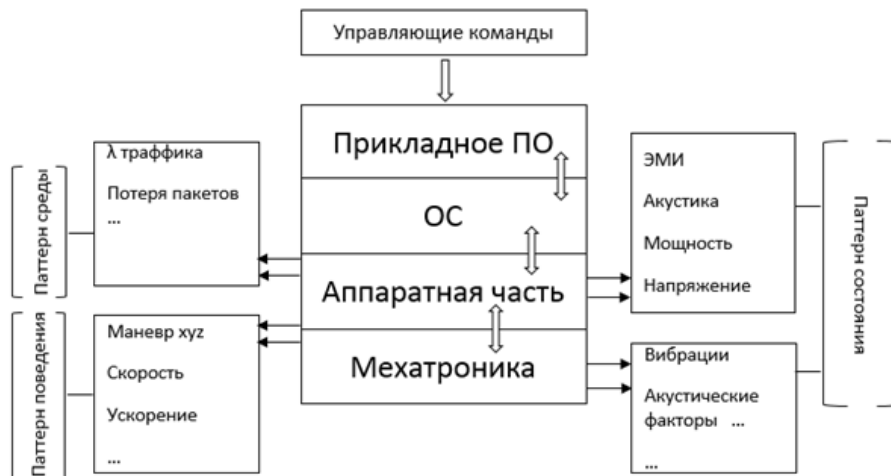


Рис. 1. Концептуальная схема устройства инфраструктуры «Индустрии 4.0» с побочными каналами условных поведенческих паттернов

«Индустрии 4.0», предназначенного для идентификации состояния удалённых и труднодоступных устройств, сочетающего в себе технологии машинного обучения при анализе разнородных внешних данных оцифрованных трасс сигнальных последовательностей, поступающих от различных элементов и объединённых в поведенческие паттерны.

Эксперимент

Для проведения эксперимента был выбран акустический побочный канал и внешний канал, регистрирующий звуковые параметры и параметры ускорения манипулятора.

Данные акустического канала снимались с микрофонов, один из которых находился на устройстве, другой — вне его. Анализ параметров ускорения и движения происходило с помощью акселерометра, закреплённого на подвижной части манипулятора.

Схема эксперимента представлена на рис. 2.

Цифровые последовательности анализировались для различных состояний:

- S_1 — состояние покоя;
- S_2 — движение манипулятора вперед;
- S_3 — движение вперед влево;
- S_4 — движение вперед вправо.

Продолжительность состояний различалась и составляла от 3,0 до 3,5 секунды.

Синхронизированные цифровые последовательности от акселерометра и микрофонов составляют условный поведенческий паттерн состояния устройств. На рисунке 3 в качестве примера показан внешний вид сигналов для состояния S_2 . Сверху представлен сигнал с микрофона, статично расположенного в зоне проведения эксперимента, а снизу — с расположенного непосредственно на исследуемом объекте. Как видно из рис. 3, сигналы сверху характеризуются меньшей амплитудой и затухают по мере удаления объекта от микрофона.

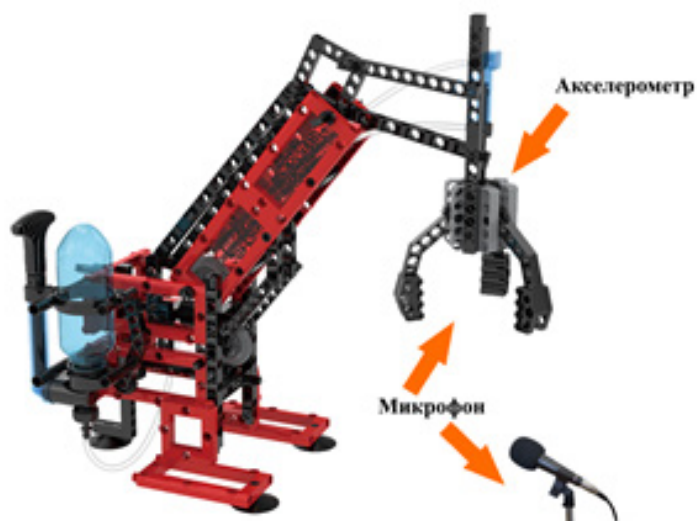


Рис. 2. Схема эксперимента

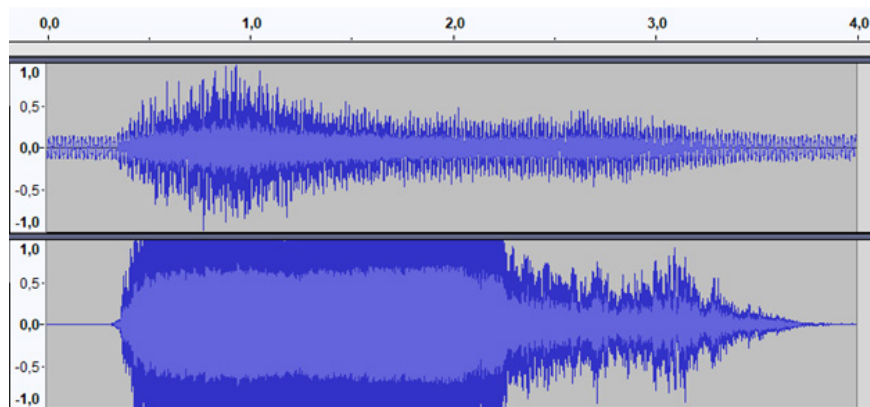


Рис. 3. Внешний вид акустических сигналов для состояния S_2

Второй набор оцифрованных последовательностей паттерна получен на основе акселерометра, измеряющего проекцию кажущегося ускорения (разность между истинным ускорением объекта и ускорением под действием силы тяжести). Измерения линейного ускорения выполнены при помощи цифрового трехосевого акселерометра. Поскольку ось Z направлена вертикально вверх, а эксперимент в целях упрощения проводился на горизонтальной плоскости (без изменения уровня высоты), то на проекцию a_z ускорения на ось Z самое большое влияние всегда будет оказывать величина ускорения свободного падения g (рис. 4).

Различные состояния также отличаются между собой частотным спектром. На рис. 5 приведен график спектра ускорения для состояния S_2 , полученный с использованием алгоритма быстрого преобразования Фурье. Преимуществом использования спектральной информации при классификации является отсутствие необходимости совмещения портретов сигналов по времени.

Массив классифицируемых данных описывал каждое состояние в дискретный момент времени при помощи пяти характеристик:

$$H(t) = \{A_1(t), A_2(t), a_x(t), a_y(t), a_z(t)\}, \quad (5)$$

где $H(t)$ — кортеж значений сигналов от различных датчиков D по времени. В приводимом случае $A_1(t), A_2(t)$ — значения амплитуд сигналов с двух микрофонов (характеристики, получаемые на основе побочных каналов), $a_x(t), a_y(t), a_z(t)$ — значения величин проекций ускорения по осям x, y и z соответственно (внешние характеристики).

В качестве классификатора был использован метод k -ближайших соседей $k = NN$, реализованный в среде *Matlab R2018b*. Достоинствами метода определения состояния с использованием алгоритма $k = NN$ являются простота и отсутствие фазы обучения, классификация производится непосредственно в процессе применения модели над обучающим множеством и исследуемым процессом. Из этого вытекает невозможность «отделения» модели от данных: для классификации нового набора значений нужно использовать примеры всех известных состояний.

Для каждой точки спектральных данных неизвестного состояния вычислялись евклидовы расстояния до других доступных точек, выбирались ближайшие k соседей и для каждого класса вычислялись условные вероятности. Точка спектра будет принадлежать классу с наибольшей условной вероятностью. На рис. 6 графически показано отнесение неизвестной точки спектра к одному из известных состояний.

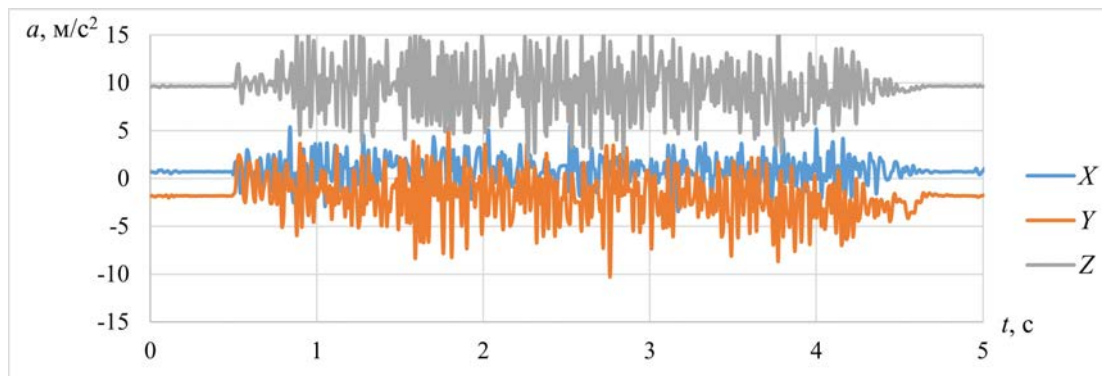


Рис. 4. График зависимости проекций ускорения (a) от времени (t) для состояния S_2

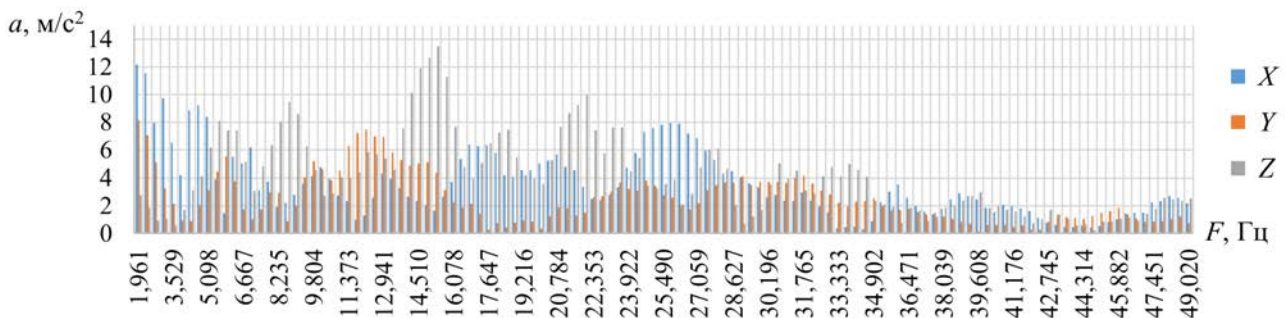


Рис. 5. График спектра частот (F) ускорения (a) для состояния S_2

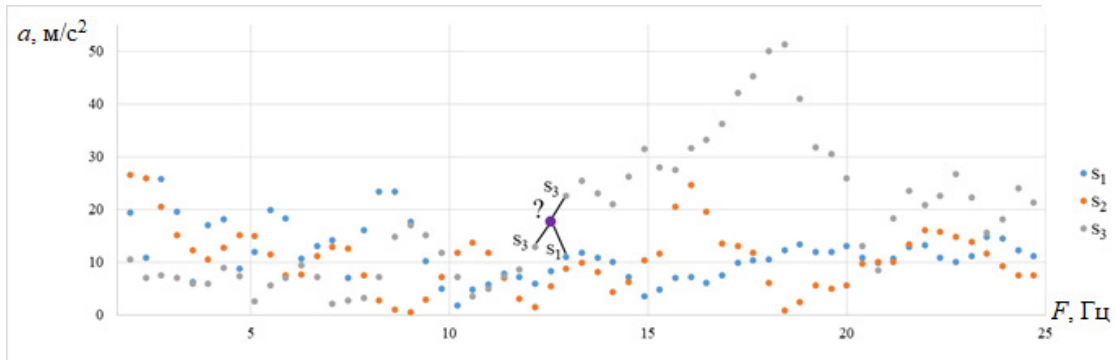


Рис. 6. Отнесение неизвестной точки спектра при $k = 3$

$$\hat{y} = \arg \min_{y=1, \dots, K} \sum_{j=1}^K \hat{P}(j|x) C(y|j), \quad (6)$$

где \hat{y} — предсказанный класс, K — количество классов, $\hat{P}(j|x)$ апостериорная вероятность класса j для наблюдения x , $C(y|j)$ — коэффициент классификации класса как y , когда его истинным классом является j . $C(i|j)=1$, если $i=j$ и $C(i|j)=0$, если $i \neq j$.

Совокупность точек спектра неизвестного состояния будет относиться к тому классу, к которому на предыдущем этапе [выражение (6)] отнесено большинство классифицируемых точек.

Таким образом, алгоритм $k - NN$ [18; 19] позволяет классифицировать все доступные точки временного ряда или спектра функционирования устройства по показателям их сходства. Результаты классификации приведены в таблице. Сумма значений диагональных элементов показывает общее количество правильно классифицированных состояний, а отношение этого количества к общему количеству состояний называется общей точностью классификации. Общая точность выбранного классификатора для случая полной классификации составила 0,93.

Таблица

Результаты классификации состояния ИБ алгоритмом $k - NN$ ($k=3$)

		Прогнозируемое состояние			
		S_1	S_2	S_3	S_4
Реальное состояние	S_1	421	10	5	1
	S_2	5	471	17	0
	S_3	1	11	473	13
	S_4	7	12	55	419

Для определения точности классификатора по проверочным данным необходимо разделить количество правильно классифицированных состояний этого класса на общее количество состояний в этом классе согласно проверочным данным [20]. Этот показатель показывает, насколько хорошо результат классификации для этого класса совпадает с проверочными данными. Похожий показатель вычисляется для реального класса, путём деления количества правильно классифицированных состояний на общее количество состояний в этом классе согласно проверяемым данным. На рис. 7 приведены результаты классификации в виде точности отнесения по классам по проверяемым и проверочным данным.

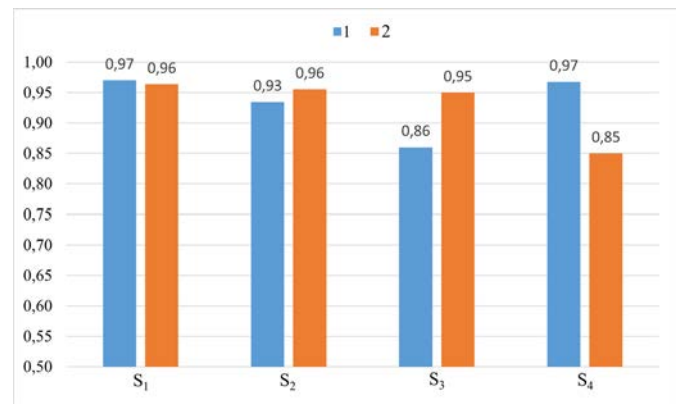


Рис. 7. Точность отнесения по классам (1 — по проверяемым данным, 2 — по проверочным данным)

Таким образом, распознавание по четырем состояниям демонстрирует принципиальную возможность применения предложенной модели, при этом происходит обнаружение с приемлемыми значениями точности идентификации.



Заключение

Развитие направлений, связанных с «Индустрией 4.0», ведет к появлению автономных устройств, беспилотных транспортных средств, производств «без участия человека», что обуславливает необходимость контроля технологических процессов, связанных с мехатронными устройствами. Основными ограничениями являются высокая сложность обработки поступающих данных и трудно реализуемые требования к входным данным.

Применяемые в настоящее время методы идентификации требуют существенных ресурсов, повышения точности и достоверности. С учетом особенностей наблюдаемых объектов, постоянных изменений поведенческих характеристик во времени и пространстве состояний необходимо группирование наблюдаемых признаков для анализа и синтеза.

Предложенный подход основан на использовании группировки характеристик, получаемых от автономного устройства в поведенческие «паттерны». Комбинирование характеристик дает возможность увеличить точность оценки состояния устройства.

Эффективность анализа состояния устройства зависит от способа обработки полученных сигналов, чувствительна к обучающей выборке и исследуемой программно-аппаратной платформе.

Литература

1. Chopra A. Paradigm shift and challenges in IoT security // *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. Vol. 1432. doi: 10.1088/1742-6596/1432/1/012083.
2. Горбачев И.Е., Глухов А.П. Моделирование процессов нарушения информационной безопасности критической инфраструктуры // *Труды СПИИРАН*. 2015. № 38 (1). С. 112–135. doi: 10.15622/sp.38.7.
3. Семенов В.В., Лебедев И.С. Обработка сигнальной информации в задачах мониторинга информационной безопасности автономных объектов беспилотных систем // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2019. Т. 19. № 3. С. 492–498. doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-3-492-498.
4. Тейланс А.А., Романов А.В., Меркурьев Ю.А., Дорогов П.П., Клейнс А.Я., Потрясаев С.А. Оценка рисков киберфизических систем с использованием моделирования доменов и имитационного моделирования // *Труды СПИИРАН*. 2018. № 59 (4). С. 115–139. doi: 10.15622/sp.59.5.
5. Сухопаров М.Е., Семенов В.В., Лебедев И.С. Мониторинг информационной безопасности элементов киберфизических систем с использованием искусственных нейронных сетей // *Методы и технические средства обеспечения безопасности информации*. 2018. № 27. С. 59–60.
6. Ghobakhloo M. Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability // *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 252. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119869.

7. Devesh M., Kant A.K., Suchit Y.R., Tanuja P., Kumar S.N. Fruition of CPS and IoT in Context of Industry 4.0 // *Intelligent Communication, Control and Devices / Choudhury S., Mishra R., Mishra R., Kumar A. (eds)*. Singapore: Springer, 2020. Pp. 367–375. (Advances in Intelligent Systems and Computing (AISC). Vol. 989). doi: 10.1007/978-981-13-8618-3_39.
8. Buldakova T.I., Mikov D.A. Matlab application for information security risk analysis // *AIP Conference Proceedings*. 2019. Vol. 2195 (1): 020004. doi: 10.1063/1.5140104.
9. Kocher P., Jaffe J., Jun B. Introduction to differential power analysis and related attacks // *Journal of Cryptographic Engineering*. 2011. Vol. 1. Pp. 5–27.
10. Kuhn M.G., Anderson R.J. Soft tempest: hidden data transmission using electromagnetic emanations // *Information Hiding*. 1998. Pp. 124–142. (Lecture Notes in Computer Science book series (LNCS). Vol. 1525).
11. Gandolfi K., Mourte C., Olivier F. Electromagnetic Analysis: Concrete Result // *Cryptographic Hardware and Embedded Systems — CHES*. 2001. Pp. 251–261. (Lecture Notes in Computer Science book series (LNCS). Vol. 2162).
12. Zajić A., Prvulovic M. Experimental Demonstration of Electromagnetic Information Leakage From Modern Processor-Memory Systems // *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*. 2014. Vol. 56. No. 4. Pp. 885–893. doi: 10.1109/TEM.2014.2300139.
13. Buldakova T.I. Cybersecurity Risks Analyses at Remote Monitoring of Object's State // *Cyber-Physical Systems: Industry 4.0 Challenges / Kravets A., Bolshakov A., Shcherbakov M. (eds)*. Cham: Springer, 2020. Pp. 187–196. doi:10.1007/978-3-030-32648-7_15. (Studies in Systems, Decision and Control (SSDC). Vol. 260).
14. Wang M., Huang K., Wang Y., Wu Z., Du Z. A novel side-channel analysis for physical-domain security in cyber-physical systems // *International Journal of Distributed Sensor Networks*. 2019. Vol. 15. No. 8. doi: 10.1177/1550147719867866.
15. Lakshmanarao A., Shashi M. A survey on machine learning for cyber security // *International Journal of Scientific and Technology Research*. 2020. Vol. 9. No. 1. Pp. 499–502.
16. Spatz D., Smarra D., Ternovskiy I. A review of anomaly detection techniques leveraging side-channel emissions // *Proceedings of SPIE — The International Society for Optical Engineering*. 2019. Vol. 11011. doi: 10.1117/12.2521450.
17. Семенов В.В., Лебедев И.С., Сухопаров М.Е. Идентификация состояния информационной безопасности беспилотных транспортных средств с использованием искусственных нейронных сетей // *Методы и технические средства обеспечения безопасности информации*. 2019. № 28. С. 46–47.
18. Bishop C.M. *Pattern Recognition and Machine Learning*. New York, USA: Springer, 2006. 738 p. (Information Science and Statistics).
19. Лебедев И.С. Способ формализации связей в конструкциях текста при создании естественно-языковых интерфейсов // *Информационно-управляющие системы*. 2007. № 3 (28). С. 23–26.
20. Tamrakar P., Roy S.S., Satapathy B., Ibrahim S.P.S. Integration of lazy learning associative classification with kNN algorithm // *International Conference on Vision Towards Emerging Trends in Communication and Networking (ViTECoN) (Vellore, India. March 2019)*. Pp. 1–4. doi: 10.1109/ViTECoN.2019.8899415.



AN APPROACH TO ANALYZING THE STATE OF INDUSTRY 4.0 NODES BASED ON BEHAVIORAL PATTERNS

MIHAIL E. SUKHOPAROV

St. Petersburg, Russia, sukhoparovm@gmail.com

VIKTOR V. SEMENOV

St. Petersburg, Russia, vksemenov@gmail.com

IL'YA S. LEBEDEV

St. Petersburg, Russia, isl_box@mail.ru

ANTON V. GARANIN

St. Petersburg, Russia, anton.v.garanin@yandex.ru

KEYWORDS: condition analysis; digitized data sequences; behavioural patterns; technological processes; nodes and devices "Industry 4.0".

ABSTRACT

The imperfection of systems for monitoring and analysing the state of hard-to-reach devices and nodes, dynamically flowing technological processes associated with them necessitates the analysis of not only "internal" data, but also those arriving through external and external channels. This article discusses one of the most effective ways to solve this problem by using digitized data sequences grouped into behavioural patterns. The analysed device, as a rule, is outside the controlled area, and access to it is limited, as a result, all processes occurring inside the devices must be under constant control. Changes in temperature, amplitude and frequency of vibrations, sound, and electromagnetic spectra taken by sensors and sensors during the production and operation of individual components may indicate the need for changes in the technological process in order to prevent wear, breakdowns, and rejects. Thus, the analysis of the state of hard-to-reach nodes and devices of Industry 4.0 based on incoming data from external side channels is an urgent task. The essence of the proposed approach is to obtain the dependence of the quantitative indicators of the functioning of devices, infrastructure nodes of "Industry 4.0" for various modes of operation and further use of the obtained data when solving the problem of analysing the state of devices and infrastructure nodes of "Industry 4.0". The novelty of this study is the development of an approach to the analysis of Industry 4.0 devices designed to identify the state of remote and hard-to-reach devices, which combines machine-learning technologies in the analysis of heterogeneous external data of digitized traces of signal sequences coming from various elements and combined into behavioural patterns.

REFERENCES

1. Chopra A. Paradigm shift and challenges in IoT security. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. Vol. 1432. doi: 10.1088/1742-6596/1432/1/012083

- Gorbachev I.E., Glukhov A.P. Modeling of Processes of Information Security Violations of Critical Infrastructure. *SPIIRAS Proceedings*. 2015. No. 38 (1). Pp. 112-135. (In Rus). doi: 10.15622/sp.38.7
- Semenov V.V., Lebedev I.S. Processing of signal information in problems of monitoring information security of unmanned autonomous objects. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2019. Vol. 19. No. 3. Pp. 492-498. (In Rus). doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-3-492-498
- Teilans A.A., Romanovs A.V., Merkuriev Y.A., Dorogovs P.P., Kleins A.Y., Potryasaev S.A. Assessment of Cyber Physical System Risks with Domain Specific Modelling and Simulation. *SPIIRAS Proceedings*. 2018. No. 59 (4). Pp. 115-139. (In Russian). doi: 10.15622/sp.59.5
- Sukhoparov M.E., Semenov V.V., Lebedev I.S. Monitoring informacionnoj bezopasnosti elementov kiberfizicheskikh sistem s ispol'zovaniem iskusstvennyh nejronnyh setej [Information security monitoring of elements of cyberphysical systems using artificial neural networks]. *Metody i tekhnicheskie sredstva obespecheniya bezopasnosti informacii* [Methods and technical means of ensuring information security]. 2018. No. 27. Pp. 59-60. (In Rus)
- Ghobakhloo M. Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 252. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119869.
- Devesh M., Kant A.K., Suchit Y.R., Tanuja P., Kumar S.N. Fruition of CPS and IoT in Context of Industry 4.0. *Intelligent Communication, Control and Devices* / Choudhury S., Mishra R., Mishra R., Kumar A. (eds). Singapore: Springer, 2020. Pp. 367-375. (Advances in Intelligent Systems and Computing (AISC). Vol. 989). doi: 10.1007/978-981-13-8618-3_39.
- Buldakova T.I., Mikov D.A. Matlab application for information security risk analysis. *AIP Conference Proceedings*. 2019. 2195 (1): 020004.. doi: 10.1063/1.5140104
- Kocher P., Jaffe J., Jun B. Introduction to differential power analysis



and related attacks. *Journal of Cryptographic Engineering*. 2011. Vol. 1. Pp. 5-27.

10. Kuhn M.G., Anderson R.J. Soft tempest: hidden data transmission using electromagnetic emanations. *Information Hiding*. 1998. Pp. 124-142. (Lecture Notes in Computer Science book series (LNCS). Vol. 1525).

11. Gandolfi K., Mourte C., Olivier F. Electromagnetic Analysis: Concrete Result. *Cryptographic Hardware and Embedded Systems – CHES*. 2001. Pp. 251-261. (Lecture Notes in Computer Science book series (LNCS). Vol. 2162).

12. Zajić A., Prvulovic M. Experimental Demonstration of Electromagnetic Information Leakage From Modern Processor-Memory Systems. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*. 2014. Vol. 56. No. 4. Pp. 885-893. doi: 10.1109/TEMC.2014.2300139.

13. Buldakova T.I. Cybersecurity Risks Analyses at Remote Monitoring of Object's State. *Cyber-Physical Systems: Industry 4.0 Challenges* / Kravets A., Bolshakov A., Shcherbakov M. (eds). Cham: Springer, 2020. (Studies in Systems, Decision and Control. Vol 260). doi:10.1007/978-3-030-32648-7_15

14. Wang M., Huang K., Wang Y., Wu Z., Du Z. A novel side-channel analysis for physical-domain security in cyber-physical systems. *International Journal of Distributed Sensor Networks*. 2019. Vol. 15. No. 8. doi: 10.1177/1550147719867866

15. Lakshmanarao A., Shashi M. A survey on machine learning for cyber security. *International Journal of Scientific and Technology Research*. Vol. 9. No. 1. Pp. 499-502.

16. Spatz D., Smarra D., Ternovskiy I. A review of anomaly detection techniques leveraging side-channel emissions. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*. 2019. Vol. 11011. doi: 10.1117/12.2521450.

17. Semenov V.V., Lebedev I.S., Sukhoparov M.E. Identifikatsiya sostoyaniya informatsionnoy bezopasnosti bespilotnykh transportnykh sredstv s ispol'zovaniem iskusstvennykh neyronnykh setej [Identification of information security state of unmanned vehicles using artificial neural networks]. *Metody i tekhnicheskie sredstva obespecheniya bezopasnosti informatsii* [Methods and technical means of ensuring information security]. 2019. No. 28. Pp. 46-47. (In Rus)

18. Bishop C.M. *Pattern Recognition and Machine Learning*. New York, USA: Springer, 2006. 738 p. (Information Science and Statistics).

19. Lebedev I.S. Sposob formalizatsii svyazey v konstruktsiyah teksta pri sozdanii estestvenno-yazykovykh interfejsov [Method for formalizing relationships in text structures when creating natural language interfaces]. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems]. 2007. № 3 (28). Pp. 23-26. (In Rus)

20. Tamrakar P., Roy S.S., Satapathy B., Ibrahim S.P.S. Integration of lazy learning associative classification with kNN algorithm. *International Conference on Vision Towards Emerging Trends in Communication and Networking (ViTECoN)*, Vellore, India, 2019. Pp. 1-4. doi: 10.1109/ViTECoN.2019.8899415.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

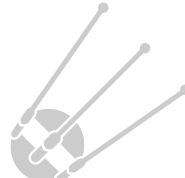
Sukhoparov M.E., PhD, Senior Research Officer of the Saint-Petersburg branch Joint Stock Company «NPK «TRISTAN»;

Semenov V.V., Junior researcher at the laboratory of intelligent systems of the Saint-Petersburg Institute of Informatics and automation of the Russian Academy of Sciences;

Lebedev I.S., PhD, Full Professor, Head of the intelligent systems laboratory of the Saint-Petersburg Institute of Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences;

Garanin A.V., Technical Director of the NEW TECHNOLOGES LLC.

For citation: Sukhoparov M.E., Lebedev I.S., Garanin A.V. An approach to analyzing the state of Industry 4.0 nodes based on behavioral patterns. *H&ES Research*. 2020. Vol. 12. No. 5. Pp. 83-91. doi: 10.36724/2409-5419-2020-12-5-83-91 (In Rus)



ТРЕБОВАНИЯ К ПРЕДСТАВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ

Редакция журнала H&ES Research принимает к публикации статьи на русском и английском языках. Предоставляемая рукопись должна быть актуальной, обладать новизной, отражать постановку задачи, содержать описание основных результатов исследования, выводы, а также соответствовать указанным ниже правилам оформления. Текст должен быть тщательно вычитан автором, который несет ответственность за научно-теоретический уровень публикуемого материала.

Статья предоставляется в электронном виде, единым файлом, имеющим следующую структуру: заглавие статьи, сведения об авторах, аннотация, ключевые слова, текст статьи (включая иллюстрации, таблицы и формулы), пристатейный список литературы, англоязычный блок. Также представляется отдельная папка с экспортированными изображениями рисунков в формате TIFF, EPS по требованиям указанным в п.7.

К статье прилагается экспертное заключение о возможности опубликования статьи в открытой печати и две рецензии кандидатов или докторов наук по профилю планируемой публикации материалов (сканированные копии в электронном виде).

Все материалы высылаются электронной почтой в адрес журнала: HT-ESResearch@yandex.ru.

1. **Статья подготавливается** в редакторе MS Word. Шаблон статьи можно скачать на сайте журнала www.h-es.ru.

2. **Данные об авторе:** фамилия, имя, отчество, ученая степень, звание, должность и полное название организации – места работы, город, страна, адрес электронной почты и почтовый адрес каждого автора полностью.

3. **Объем аннотации** 200-250 слов. Аннотация должна быть информативной (не содержать общих слов), без сокращений, структурированной, отражать основное содержание статьи: предмет, цель, методологию проведения исследований, результаты исследований, область их применения, выводы. Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, гипотезами, описанными в статье. Предложения должны начинаться словами: показано, получено, исследовано, предсказано и т.д. и т.п.

4. **Ключевые слова:** от 5 до 7 слов (словосочетаний), разделенных точкой с запятой.

5. **Объем статьи** без аннотации – от 15 до 30 тыс. знаков с пробелами. Рисунки и таблицы в объеме статьи не учитываются.

6. **Формульные выражения** выполняются в редакторе Math Type. Формулы нумеруются в круглых скобках, источники – в прямых. Нумерация формул и приведение в списке источников, на которые нет ссылок по тексту, не допускается. Длина формулы в одну строчку 8-9 см.

Простые формулы и буквенные обозначения величин следует писать в строку обычным текстом. В формулах использовать только буквы латинского и греческого алфавита!

Размеры шрифтов (Size) предварительно перед набором первой формулы установить (в MathType) следующие: кегль основной – 10, крупный индекс – 7, мелкий индекс – 5, крупный символ – 12, мелкий символ – 8. Формулы, не содержащие специальных математических символов, должны быть набраны в тексте (в формате Word). Греческие обозначения, скобки (квадратные и круглые) и цифры всегда набираются прямым шрифтом. Латинские буквы набираются курсивом

как в формулах, так и в тексте, кроме устойчивых форм (max, min, cos, sin, tg, log, exp, det ...).

Нельзя использовать сканированные формулы! Все формулы должны быть набраны вручную!

7. **Рисунки и таблицы** в статье должны быть пронумерованы и снабжены подписями, в тексте статьи должны иметься ссылки на каждый рисунок и таблицу (рис.1 и табл.1). Если рисунок или таблица единственные в статье, то их не нумеруют.

Рисунки должны быть четкими, с хорошо проработанными деталями. Избегать текстовых надписей на иллюстрациях. Заменять их цифровыми обозначениями, которые поясняются в подписи или в основном тексте. Все рисунки прилагаются в виде отдельных файлов в формате TIFF, EPS с разрешением не менее 300 dpi для оригинального размера в печатном издании (для больших рисунков ширина от 14 до 20 см, для маленьких от 7 до 9 см).

8. **Список литературы:** от 15 до 50 наименований. Из них самоцитирований не должно быть более 25%. В числе источников желательное не менее 50 % иностранных источников (для статей на английском языке – 15% российских). Состав источников должен быть актуальным и содержать не менее 8 статей из научных журналов не старше 10 лет, из них 4 – не старше 3 лет.

Ссылки должны быть только на статьи, патенты, книги и статьи из сборников трудов. В списках литературы не размещать ГОСТы, рекомендации, диссертации, авторефераты и другую нормативную и непериодическую документацию. Эти данные можно указывать в теле статьи в скобках или в виде постраничных сносок (если автор непременно хочет указать нормативный документ или сослаться на свою диссертацию). Список литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.052008. **Образец оформления списка литературы размещен на сайте журнала www.h-es.ru.**

9. **На английском языке** предоставляется: название статьи, фамилия, имя, отчество, информация об авторах (должность, ученая степень, ученое звание, место работы), город, страна и электронный адрес всех авторов полностью, аннотация, ключевые слова и списки литературы.

Все названия издательств и журналов должны быть транслитерированы, а не переведены. Названия организаций в списках литературы (Труды Академии...) должны быть четко выверены с данными организации и иметь официальное английское наименование, которое указано на их сайте или также транслитерированы. Образец оформления списка литературы размещен на сайте журнала www.h-es.ru.

10. Структура статьи на английском языке

Introduction (введение)

Materials and methods (материалы и методы).

Results and Discussions (результаты и обсуждение).

Conclusions (вывод)

Acknowledgements (благодарности, необязательный раздел)

References (ссылки на использованную литературу)

На русском языке предоставляется: название статьи, фамилия, имя, отчество, информация об авторах (должность, ученая степень, ученое звание, место работы), город, страна и электронный адрес всех авторов полностью, аннотация, ключевые слова и списки литературы.

Внимание! Редакция оставляет за собой право отклонить представленные материалы, оформленные не по указанным правилам.