

H&ES RESEARCH

Научно-технический журнал

Scientific and Technical Journal

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:

- 05.07.00 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 Паблишер"

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", 2022

ISSN 2409-5419 (Print) ISSN 2412-1363 (Online) WWW.H-ES.RU Дата выхода: 20 февраля 2022

1
T. 14
2022



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

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

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

Адрес типографии:
Россия, Москва, ул. Складочная, д. 3,
корп. 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

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

Винограденко А.М.

Архитектура интеллектуальной системы контроля технического состояния эволюционирующих комплексов связи специального назначения

4

Алтухов А.А., Зеленецкий Ю.В., Филатов В.И.

Имитационное моделирование спутниковой системы связи с изменяемой орбитальной структурой

21

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Пшеничный Ф.И., Королёв И.Д., Иванов С.В.

Оценка показателей информационно-управляющей системы комплексов с беспилотными летательными аппаратами военного назначения в условиях информационно-технических воздействий

28

Шелухин О.И., Ванюшина А.В., Желнов М.С.

Использование латентно-семантического анализа при подготовке данных для идентификации анонимных пользователей по цифровым отпечаткам

36

Косых Н.Е., Хомоненко А.Д., Куранова О.Н.

Разработка Web-приложения для анализа настроений текста с помощью фреймворка Flask и языка Python

45

Асадов Х.Г., Махмудова В.Х.

Метод оптимального построения вариограммы для определения выборок при исследовании гетерогенности сельскохозяйственных полей

53

Гураль Д.А.

К вопросу повышения оперативности принятия решения на применение средств зондирования околоземного космического пространства

59



CONTENTS

RF TECHNOLOGY AND COMMUNICATION

Vinogradenko A.M.

Architecture of an intelligent system for monitoring the technical condition of evolving special-purpose communication complexes

4

Altukhov A.A., Zelenevsky Yu.V., Filatov V.I.

Simulation of a satellite communication system with a variable orbital structure

21

INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND CONTROL

Pshenichnyj F.I., Korolev I.D., Ivanov S.V.

Evaluation of the indicators of the information management system of complexes with unmanned aerial vehicles for military purposes in the conditions of information and technical impacts

28

Sheluhin O.I., Vanyushina A.V., Zhelnov M.S.

Use of latent-semantic analysis in preparation of data for identification of anonymous users by digital fingerprints

36

Kosykh N.E., Khomonenko A.D., Kuranova O.N.

Developing a Web Application for Sentiment Analysis Using the Flask Framework and Python

45

Asadov H.H., Mahmudova V.Kh.

The method of optimal construction of variograms to determine the choice in the study of heterogeneity of agricultural fields

53

Gural D.A.

On the issue of improving the speed of decision-making for the use of near-Earth probing equipment of outer space

59

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;

SEMENOV S.S., PhD, Docent;

SINICYN E.A., PhD, Full Professor;

SHATRAKOV Y.G., PhD, Full Professor;

Honored Worker of Science of the Russian Federation.

Address of publisher:

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

Address of edition:

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

Address of printing house:

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

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



doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-1-4-20

АРХИТЕКТУРА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭВОЛЮЦИОНИРУЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

ВИНОГРАДЕНКО
Алексей Михайлович¹

АННОТАЦИЯ

Предлагается архитектура и принцип функционирования интеллектуальной системы контроля технического состояния комплексов связи межведомственной телекоммуникационной системы специального назначения. Описаны процессы представления и получение знаний в интеллектуальной системе контроля технического состояния неоднородных комплексов связи телекоммуникационной системы специального назначения, правила процесса контроля, а также реализация базы знаний перспективной системы контроля. **Цель исследования:** повысить эффективность контроля комплексов связи территориально распределенной телекоммуникационной системы специального назначения путем интеллектуализации процесса контроля и совершенствования архитектуры перспективных систем контроля. **Методы:** методы многоуровневого синтеза сложных технических систем и методы теории искусственного интеллекта. **Результаты.** Проведена разработка интеллектуальной системы контроля технического состояния комплексов связи эволюционирующей телекоммуникационной системы специального назначения. Описаны процессы представления и получения знаний в интеллектуальной системе контроля технического состояния комплексов связи специального назначения. Определены правила проведения процессов оценивания, контроля технического состояния неоднородных комплексов связи эволюционирующей телекоммуникационной системы. Представлены принципы структурного построения, базовые технологии и на их основе архитектура перспективной системы контроля. Описана обобщенная структура базы знаний интеллектуальной системы контроля и процесс ее функционирования. **Практическая значимость.** На основе сформулированных принципов функционирования системы управления знаниями представлена программная реализация предлагаемой интеллектуальной системы контроля технического состояния комплексов связи межведомственной телекоммуникационной системы специального назначения в рамках межведомственного единого управляющего пространства. В предлагаемой системе контроля база знаний включает полносвязную поисковую систему признаков аварийности, методов оценивания, идентификации, онтологию и компоненты семантического поиска.

Сведения об авторе:

¹ кандидат технических наук, доцент,
Военная академия связи им. С. М.
Буденного, г. Санкт-Петербург, Россия,
vinogradenko.a@inbox.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: интеллектуальная система контроля, комплексы связи, телекоммуникационная система специального назначения, представление знаний.

Для цитирования: Винограденко А.М. Архитектура интеллектуальной системы контроля технического состояния эволюционирующих комплексов связи специального назначения // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2022. Т. 14. № 1. С. 4–20. doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-1-4-20



Введение

Тенденции в развитии новых сложных организационно-технических объектов, элементов и подсистем современных территориально распределенных производственных комплексов, увеличении их количества предполагают соответствующее развитие межведомственных телекоммуникационных систем (ТКС), приобретающих характер пространственной рассредоточенности, полной автоматизации, автономности и, нацеленных на выполнение задач, как правило, сопряженных с доведением управляющей информации, сигналов и др. в сжатые временные интервалы. При этом оперативность систем управления практически полностью зависит от вероятностно-временных характеристик доведения управляющей информации по каналам связи а, соответственно, от технического состояния (ТС) комплексов связи (КС), взаимосвязанных с комплексами средств автоматизации в ТКС специального назначения (СН) [1].

Развитие ТКС СН характеризуется масштабированием, добавлением новых элементов (компонентов, сегментов) оборудования к существующим системам, следовательно, их усложнению, что отражается на структуре их построения, гетерогенности, неоднородности как окончного оборудования, так и ТКС в целом [2].

К таким объектам можно отнести стационарные объекты связи, обеспечивающие функционирование систем СН, а также автономные малообитаемые и необитаемые объекты (роботизированные комплексы различных типов базирования, характеризующиеся высокой ценой отказа, ведущего к нарушению нормального функционирования как объекта инфраструктуры, так и всей системы, срыву поставленной задачи, возникновению аварийной ситуации, сопровождающейся значительным ущербом.

Таким сложным, географически распределенным, межведомственным, гетерогенным ТКС присущи следующие особенности, отличающие их от созданных в конце XX века и находящихся сегодня ещё в эксплуатации внутриведомственных систем связи и их подсистем контроля:

1) возможность полного математического описания (построения полноценной математической модели) как межведомственной ТКС в целом, так и отдельных сетей в ее составе, объединяющих гетерогенные сегменты сети, комплексы средств автоматизации (КСА) и АКС (программно-аппаратные комплексы связи (ПАКС)) в составе единого информационного пространства (ЕИП), единого информационно-управляющего пространства (ЕИУП) РФ при несомненной желательности и настоятельной необходимости в этом [3];

2) утайность функционирования межведомственных ТКС в рамках ЕИП (ЕИУП) РФ, приводящая к трудностям при проведении анализа его состояния и организации управления. Эта особенность обусловлена не только наличием многочисленных специальных источников случайных и преднамеренных помех в системе связи, но и её сложностью, приводящей к множеству всякого рода второстепенных (с точки зрения целей контроля и управления) процессов. Вследствие этого, функционирование такого объекта контроля (ОК) подчас оказывается «непредвиденным» для его системы управления и подсистемы контроля, причем эту «непредвиденность» необходимо рас-

сматривать как некий случайный фактор и трактовать как зашумленность, чем проводить подробный анализ механизмов воздействия второстепенных процессов на ТКС, хотя эта «случайность» может оказаться вовсе и не случайной. Функционирование межведомственной ТКС СН осуществляется в сложных условиях, когда возможны различные структурные и информационные воздействия, носящие в большей степени умышленный характер, что предполагает гибкое оперативное изменение ее структуры и организацию управления в реальном масштабе времени. При этом необходимые гибкость, масштабируемость и возможность наращивания (восстановления после деградации) обеспечивают построение ОК в соответствии с концепцией глобальной информационной инфраструктуры и широкое применение современных информационных, телекоммуникационных технологий, технологий управления с элементами искусственного интеллекта и пр. [4];

3) необъяснимая «нетерпимость» к управлению, что является самой неприятной особенностью межведомственных ТКС, поскольку гетерогенная система функционирует относительно независимо от системы управления, т. е. она предназначена для сопряжения элементов и передачи информации, а не для управления ею. В этом есть определенное противоречие, которое возрастает, если цели подсистемы контроля автоматизированной системы управления (АСУ) не согласованы с целями самой ТКС;

4) существующая нестационарность межведомственной ТКС, вытекающая из её сложности и проявляющаяся в дрейфе основных характеристик (в эволюции отдельных телекоммуникационных сетей и её сегментов в составе межведомственных ТКС во времени), что гарантирует так называемую невозпроизводимость экспериментов, состоящую в различной реакции сети на одну и ту же аварийную ситуацию или управляющее воздействия в различные моменты времени, что нельзя не учитывать при моделировании системы контроля ТКС СН [3, 4].

Анализ этапов развития ТКС СН показывает непрерывный рост контролируемого пространства, порождаемый увеличением территориальной распределенности и неоднородности межведомственных КС в процессе их функционирования, что предполагает соответствующий охват средствами контроля наблюдаемых объектов. При этом, высокая степень размерности контролируемого пространства, с учетом многоуровневой структуры и неоднородности КС, совокупности наблюдаемых параметров, предполагает наличие такой модели системы контроля, которая позволит учитывать принципы построения, требования, предъявляемые к системам контроля и особенности эволюционирующих ТКС СН, что позволит решить задачу данного уровня сложности [5, 6].

Разработка перспективных систем контроля межведомственных КС СН, с учетом условий функционирования ТКС СН, предполагает использование новых методов контроля, технологии искусственного интеллекта (ТИИ), преумножающих эффективность процесса контроля и дополняющих их возможности такими экспертными данными и «горизонтом» прогнозирования, которые ранее были не достижимы. С учетом этого, дальнейшее развитие систем контроля ТКС СН в настоящей статье во многом связано с интеллектуализацией, с созданием и широким внедрением ТИИ [2, 7].



Процесс функционирования систем контроля ТКС СН в условиях воздействия множества дестабилизирующих факторов, с учетом обработки больших данных в межведомственных ЕИУП, предполагает использование подходов и методов контроля, способствующих повышению оперативности систем поддержки принятия решений (СППР), а также обладающих функциями обучения и адаптации в динамично меняющейся среде, что позволит достичь своевременной идентификации вида ТС ОК в аварийных ситуациях и эффективного управления телекоммуникациями в создавшихся условиях.

Анализ развития интеллектуальных методов в различных смежных областях науки и техники показывает отличия данных подходов от распространенных в настоящее время адаптивных, за счет возможности накопления и использования знаний, данных и правил в процессе эксплуатации объектов наблюдения. Для исследуемых систем контроля ТС ТКС СН интеллектуальный подход (ИП) потенциально характеризуется большей оперативностью, критичностью к аварийным ситуациям, которые обеспечиваются классификационной схемой, возможностью аккумуляции и обновления совокупности знаний о наблюдаемом состоянии ОК путем использования правил применения различных методов оценивания их ТС, а также отсутствием ограничений (например, по масштабу процесса контроля), свойственных адаптивным системам контроля [2, 10–19, 22].

Известные работы по адаптивным системам контроля ТС КС СН [8, 9], характеризуются с точки зрения относительно большого временного интервала, в рамках которого система идентифицирует и осуществляет управляющее воздействие (изменяет параметры наблюдаемого процесса), что в век высоких скоростей и массового использования, например, робототехнических комплексов различных типов базирования не соответствует требованиям по оперативности в перспективных системах контроля.

Существующие в настоящее время интеллектуальные технологии (ИТ) позволяют расширить круг решаемых задач, найти альтернативные подходы в других областях науки, снизить некоторые ограничения в процессах контроля ТС межведомственных КС. Применение ИП, предполагающего машинное обучение (искусственные нейронные сети (ИНС)), технологии создания экспертных систем, технологии поиска, представления знаний, интеллектуального анализа данных, распознавания образов, создания интеллектуальных роботов, мультиагентных систем, позволит значительно расширить возможности существующих систем контроля, достичь результатов, которые раньше считались невозможными [20–28].

Для принятия обоснованного решения по управлению КС СН необходимо научно-техническое сопровождение эксплуатации таких объектов, основной задачей которого является контроль ТС. Мониторинг ТС КС СН, представляющий информационное обеспечение органов управления (ОУ) межведомственных ситуационных центров, предназначен для разработки на основе собираемой разнородной информации соответствующих предложений для принятия оперативных решений (ПОР) ОУ. Мониторинг осуществляется подсистемой контроля ТС КС и представляется в настоящей работе совокупностью средств контроля КС территориально распределенной ТКС СН, эффек-

тивность функционирования которых зависит от уровня интеллектуализации, степени внедрения ИТ в процессы контроля и оценивания ТС КС СН [1, 29, 30].

Таким образом, целью работы является разработка архитектуры интеллектуальной системы контроля ТС межведомственных КС территориально распределенной ТКС СН.

Постановка задачи исследований

Для уменьшения, редуцирования контролируемого пространства, характеризуемого топологической и пространственно-временной неоднородностью, любая развивающаяся ТКС СН, с учетом свойств эволюционного развития, динамичности структуры и вариативности данных аспектов может быть представлена как совокупность зон контроля, разделенных на критически важные элементы (КВЭ), масштабируемые на любом этапе развития [2, 31]. Следовательно, наблюдаемая ТКС агрегируется, комплексирована в процессе эволюции в одну общую систему, что подразумевает соответствующее развитие свойства контролируемости ТКС СН.

Задача контроля ТС неоднородных КС СН может быть представлена в виде

$$\mathfrak{X} \Rightarrow \{\overline{U}_i, \overline{D}_i\} = \overline{C}_i, \forall i \in I, \quad (1)$$

где $\mathfrak{X}_i = \{\mathfrak{X}_{i\mu}; \mu = \overline{1}, M_i\}$, $\forall i \in I$ – известные состояния КВЭ, а M_i – количество известных состояний КВЭ КС СН; $\overline{U}_i(t)$, $\overline{D}_i(t)$ – текущие значения статических и динамических контролируемых параметров КВЭ в моменты времени t на интервале предьстории T при переходе ее в состояние $C_{i\mu}$ в случае возникновения аварийной ситуации.

Очевидно, что, в целом, ТС КС СН будет определяться множеством состояний КВЭ, входящих в их состав. Статический и динамичный характер состояний $\overline{C}_{i\mu}$ КВЭ S_i и соответствующих им значений параметров \overline{U}_i и \overline{D}_i , а также в ряде случаев незначительные отклонения значений текущих параметров в различных ситуациях и различные временные интервалы предьстории (априорная информация) этих ситуаций обуславливают сложность поставленной задачи (1).

Интеллектуальный контроль неоднородных КС СН предполагает использование методов и ТИИ: представления совокупности знаний о состоянии КС, их извлечения в процессе сбора измерительной информации (ИИ), а также применения знаний – интеллектуального анализа ИИ [32]. Именно применение интеллектуальных процедур определения соответствия контролируемых параметров конкретного типа оборудования эталонным значениям (допускам), находящимся в базе знаний (БЗ) разрабатываемой системы контроля, учета динамики развития аварийных ситуаций, использование прогностических процедур и др. представляет собой процесс интеллектуального контроля.

В настоящей статье под знаниями понимаются данные о закономерностях предметной области (принципы, связи, законы и т. д.), полученные в результате формализации итогов практической деятельности и профессионального опыта, ко-



торые позволяют специалистам решать задачи. Таким образом, формализуемая информация о состоянии комплексов связи ТКС СН, хранящаяся в информационной системе (ЕИУП ведомства или министерства), является знаниями.

Решение задачи хранения и накопления знаний в моделируемой системе контроля возложено на базу знаний (*knowledge base*), содержащую правила вывода и информацию о человеческом опыте и знаниях в предметной области оценивания, контроля ТКС СН. В самообучающихся системах БЗ также содержит информацию, являющуюся результатом решения предыдущих задач. Учитывая, что современные БЗ работают совместно с системами поиска и извлечения информации, то для решения задачи требуется некоторая модель классификации понятий и определенный формат представления знаний [24].

Известный практический подход к преодолению указанной проблемы состоит в использовании знаний экспертов для идентификации различных аварийных ситуаций C_{α} для каждого КВЭ S_i . Проведенные исследования подтвердили целесообразность использования принципов интеллектуализации процесса контроля, процедур представления знаний, обучения (например, в ИНС) для решения задач контроля при принятии решений по управлению ТКС (в СППР). Однако использование такого подхода может быть недостаточным для достижения требуемой оперативности контроля межведомственного пространства в режиме реального времени. Для повышения эффективности контроля межведомственного пространства необходим поиск правил представления и применения знаний в ИСК, вызывающих синергетический эффект, распространяющийся на все контролируемые элементы КС СН министерств и ведомств [2]. С этой целью база знаний в ИСК представляется в виде метамоделей B_k , где $k = \overline{1, M}$, хранящей данные о аварийных ситуациях, группах ситуаций, признаках их возникновения и методах контроля для всех КВЭ КС. База знаний также включает в себя входные и выходные векторы, интервалы предыстории, весовые коэффициенты соответствующих моделей представления, получения знаний и др.:

$$B_k = \{E_k, X_k, \mathfrak{R}_k\}, \quad (2)$$

где $E_k = \{\mathfrak{R}_k, G_\alpha\}$ – идентификатор аварийной ситуации, состоящий из описания состояния \mathfrak{R}_k и идентификатора группы ситуаций G_α , в состав которой входит данная ситуация; $X_k = \{\overline{X}_k^\theta | \theta = \overline{1, \Theta_k}\}$ – множество признаков ситуаций, являющихся входными векторами моделей представления, получения знаний и др.; Θ_k – количество признаков аварийной ситуации (воздействий) \mathfrak{R}_k ; $\mathfrak{R}_k = \{L_k^\phi | \phi = \overline{1, \Phi_k}\}$ – варианты принятия решений при возникновении k -й ситуации, где Φ_k – количество вариантов реакции на ситуацию E_k .

Представление и получение знаний в интеллектуальной системе контроля технического состояния комплексов связи специального назначения

В процессе проведения контроля технического состояния КС СН базы знаний (правил) ИСК постоянно пополняется новыми данными и обновляется исходя из динамики процесса

оценивания ТКС КС, различных аварийных ситуаций с учетом условий их протекания. Постоянно пополняемые и обновляемые данные содержатся в правилах и используются ими в различных аварийных ситуациях для обеспечения выработки решений в управляющей системе, рис. 1, что обеспечивает гибкость системы контроля [2].

Результатом функционирования ИСК является решение задач обнаружения, распознавания и идентификации отказов в КС СН, выделения опасных трендов развивающихся аварийных ситуаций, ведения их оперативного каталога, прогнозирования отказов, формирования и обеспечения в принятии на основе всесторонней оценки обстановки своевременных мер по обеспечению работоспособности КС СН и, соответственно, выполнения поставленной задачи. При этом, указанный функционал в реальном масштабе времени (режиме мягкого реального времени) в автоматизированном (автоматическом) режиме функционирования КС СН подчеркивает актуальность решаемой задачи.

Моделируемая БЗ ИСК представляется как информационная многоуровневая МЕТА-система, основанная на фундаментальных математических положениях метатеории и способная на основе поступающей ИИ, путем ее обработки получать и применять новые знания в виде правил. Представленная таким образом мета модель (ММ) БЗ, обобщает другие модели, например, обобщенные модели совокупности выборок измерений, результаты уравнивания, модели трендов, полученные на основе выборок эмпирических наблюдений, прогнозные модели о возможном появлении или развитии аварийной ситуации. В моделируемой ИСК ММ БЗ зависит от аварийной, а, соответственно, информационной ситуации. В разных информационных ситуациях ММ имеют разные виды [2, 33–35]. ММ измерений означает обобщенную модель измерений, из которой для конкретных условий можно образовать разные конкретные методики измерений. При этом объект-оригинал, представляющий собой КВЭ какой-либо зоны контроля или аварийную ситуацию, развивающуюся в этой зоне, служит в качестве источника, отражающего происходящие изменения в КС территориально распределенной ТКС СН. Используя положения метатеории, в понятие ОК можно включить систему, явление и процесс, что позволяет в отношении ОК порождать разные модели в разные циклы наблюдений на основе общей мета модели наблюдений.

Задача построения ИСК ТКС КС многогранна и предполагает совместное проведение как пространственного анализа в аспекте территориальной распределенности ТКС СН, так и использование методов теории искусственного интеллекта в области диагностики КС совместно с другими отдельными объектами для основных и вспомогательных целей. Совместно они трансформируются в модель информационной ситуации (ИС). Основным объектом исследования интеллектуального контроля ТКС КС СН являются пространственные ситуации, то есть, аварийные ситуации контролируемого объекта, ТКС которого варьируется в пространстве параметров, или информационные пространственные ситуации. При контроле территориально распределенной ТКС СН отдельные КС описываются также моделью информационной ситуации, которая может быть рассмотрена как ММ в информационном поле.

Особенностью информационного поля является наличие элементов поля моделей информационных единиц [34], которые



как элементы алфавита служат основой для построения других моделей.

Построение ИСК КС межведомственной территориально распределенной ТКС СН моделируется в информационном поле также как ММ – модель информационной конструкции (ИК). ТКС СН позиционируется в данной модели как пространственная система, процесс контроля, входящих в ее состав территориально распределенных КС – как пространственный процесс, фиксирующий аварийные ситуации, т. е. информационные ситуации (ИС), распределенные в межведомственном ЕИУП. Использование ИС и ИК позволяет строить научное обоснование пространственной модели ИСК ТКС территориально распределенной ТКС СН. Пространственное метамоделирование включает моделирование с пространственными и параметрическими моделями [2, 34].

Процесс представления знаний в ИСК включает проведение экспертных оценок, прогнозирование ТС и представление данных результатов для ПОР, что является наиболее важным аспектом интеллектуализации контроля унифицированных КС, обладающих межведомственными особенностями.

При этом, процесс прогнозирования осуществляется на период, не превышающий время адаптации ИСК к неоднородности функционирующего КС СН (включая время принятия решений). Анализ функционирования систем контроля, телеметрии и мониторинга КС СН [36, 37], показывает, что существующие системы контроля инертны, обладают низким быстродействием и слабо унифицированы, что недостаточно для охвата контролем эволюционирующих КС. В других министерствах и ведомствах системы контроля характеризуются аналогичными недостатками. В рамках перспективной ИСК необходим учет данных межведомственных особенностей КС, что определяет необходимость наличия в структуре ИСК межведомственной БЗ. Применение знаний о КВЭ в межведомственном контролируемом пространстве определяет систему приоритетов, что позволяет задать шкалу важности для КС, являющейся ситуативной и определяющейся аналогично зонам контроля ЛПП АСУ ТКС, поэтому БЗ ИСК моделируется как динамическая, ситуативная и представленная декларативной и процедурной моделями знаний (рис. 1) [2, 38, 39].

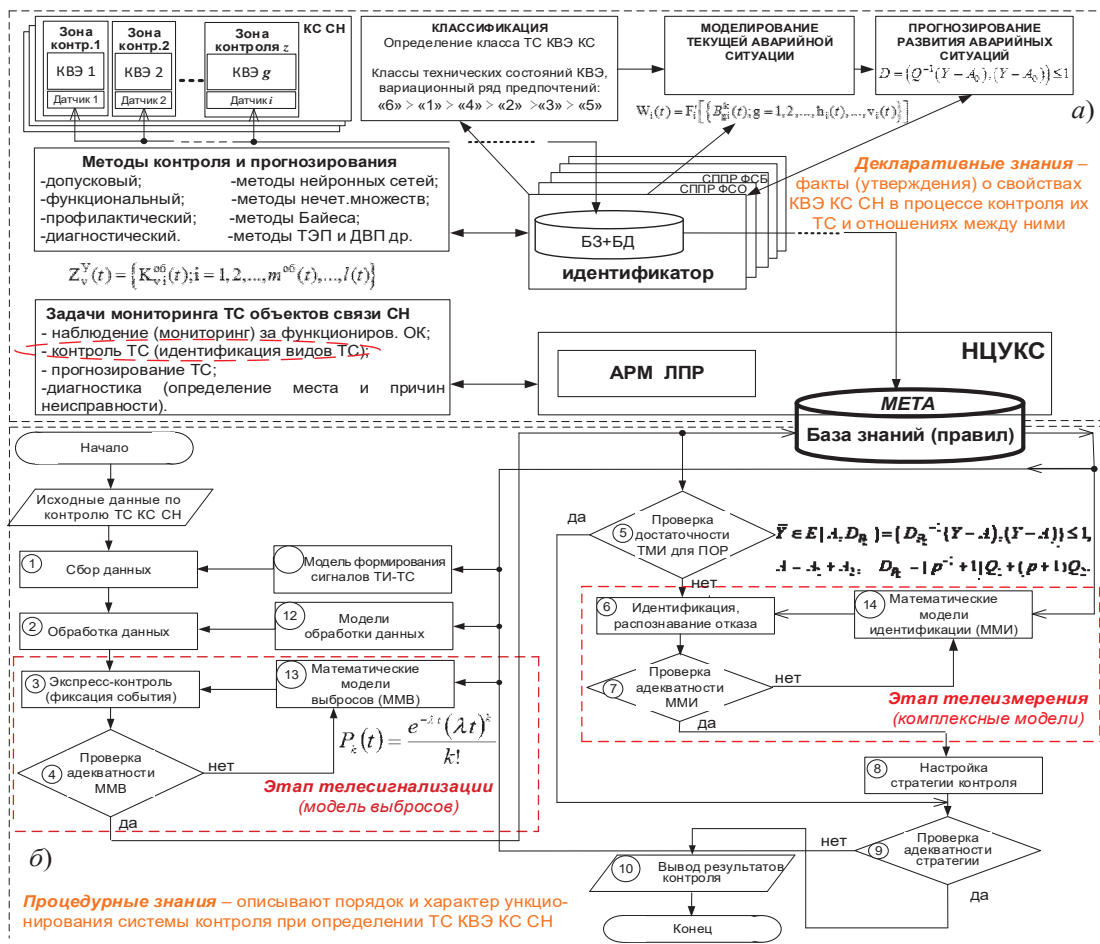


Рис. 1. Обобщенная модель знаний для реализации контроля технического состояния КС СН



Определение шкалы важности становится особенно актуальным при создании межведомственных ситуационных центров, систем мониторинга и контроля ТС сложными техническими объектами, при решении задач классификации (кластеризации), когда человеческий опыт не может быть выражен в точной количественной форме. В процессе представления знаний это сказывается на том, что классификаторы и оценки являются чисто качественными и не содержат в себе какой-либо количественной меры, что существенно затрудняет процесс поиска решений по управлению и оценку эффективности принятых решений.

Декларативные знания в базе знаний ИСК описывают структуру моделируемой ИСК (структурные знания), характеризующие процесс контроля КС, учитывая их межведомственные особенности. Такие КС обладают определенным набором знаний, определяющим их как ОК, с учетом соответствующей министерствам и ведомствам, специфики контролируемых зон. В них описывается совокупность структурных параметров, характеристик КС, которые определяют алгоритм процесса контроля (рис. 1), с учетом элементов автоматизации, охватывающих контролируемые КВЭ. Представленная декларативная модель включает процессы сбора и обработки ИИ (оцифровки, оценивания и др.). Процедурные знания в БЗ ИСК описывают порядок и характер функционирования ИСК при определении технического состояния КВЭ КС [2, 31].

Процесс получения знаний из ИИ, поступающей в систему контроля от КС ТКС СН (министерств и ведомств) предполагает процесс управления знаниями. Опираясь на методы анализа ИИ, классификации и принципы поисковой системы признаков аварийности, функциональность систем обращения со знаниями в ИСК должна включать: 1) интеграцию с ТКС министерства (ведомства), получение от них информации и результатов ее анализа для расширенного поиска (например, в целях поддержки и принятий решений); 2) построение онтологий; 3) анализ полученных знаний и генерацию на их основе релевантных умозаключений на основе поискового запроса пользователя; 4) периодическую актуализацию и индексацию системы; 5) организацию интерфейса взаимодействия между пользователем и ИСК через интуитивный интерфейс [41, 42].

Определение правил проведения контроля в системе интеллектуального контроля технического состояния комплексов связи специального назначения

Правила, формируемые на основе поступающей ИИ в БЗ ИСК характеризуют порядок (алгоритм) проведения процессов контроля ТС КС и их особенности, выраженные в следующих правилах применения методов оценивания ТС КС [2, 43]:

1. Основным правилом, определяющим выбор конкретного математического аппарата, в соответствии с БЗ, является степень неоднородности ОК, определяемая по шкале (например, от 0 до 1, в сторону увеличения неоднородности). Наиболее подходящий математический аппарат, в зависимости от степени неоднородности, определяется, например, методом экспертных оценок (в частности, метод бинарных сравнений). В целом, обоснование степени важности КВЭ определяется на основе положений теории важности критериев [2, 38].

1.1. Для однотипных КВЭ в процентном отношении от всего ОК (от 0 до 0,6), процедура оценивания ТС основана на методах экспертных оценок, статистических методах распознавания, метрических методах, методах статистических решений (Неймана-Пирсона, минимакса. Это объясняется высокой степенью унификации, «схожести» контролируемых узлов, механизмов и фиксируемым потоком ИИ, характеризующим свойствами однородности. Процесс изменения ТС в однотипных КВЭ более плавный, что способствует относительно высокой эффективности процессов обучения и обобщения, например, при использовании ИНС.

1.2. Для неоднотипных КВЭ (например, сетевого оборудования), отличающихся импульсным, нестационарным характером потока ИИ с пуассоновским законом распределения или Вейбула (амплитудные всплески сигнала, получаемые с большим временным разбросом), поступающего от контролируемых КВЭ (при степени неоднородности от 0,6 до 1), наиболее применим метод дискретных вейвлет-преобразований (ДВП), а также метод последовательного анализа Вальда.

2. Для каждой зоны контроля имеется своя совокупность правил, зависящих от степени значимости КВЭ. Проведенный анализ функционирования телекоммуникационного ресурса КС показал, что наиболее значимыми КВЭ с точки зрения управляемости (контролируемости) КС СН являются модемы, узлы коммутации, центры сопряжения, а с точки зрения энергетического баланса – силовое оборудование (контроллеры в силовых модулях, энергоблоках и т. д.). С учетом такой интерпретации вводятся три степени значимости КВЭ: к КВЭ первой степени значимости относят узлы коммутации (пульта центрального, коммутаторы и др.); к КВЭ второй степени значимости – оконечное оборудование КС (радиостанции, антенно-фидерные устройства и др.); к КВЭ третьей степени значимости – электропитающее оборудование, в частности контроллеры силовых модулей, технологическое оборудование для обеспечения функционирования КС СН. Для различных вариантов применения КС СН степени значимости КВЭ могут корректироваться [31].

3. Процесс оценивания ТС зон контроля с КВЭ включается только в том случае, когда число контролируемых КВЭ $m \geq 100$ (определено в результате имитационного моделирования). Причем, с увеличением числа КВЭ эффективность ИСК экспоненциально возрастает (рис. 2) [2].

4. Процесс оценивания зон контроля КС отображается на временной оси контроля, а для отдельных КВЭ – в соответствующие интервалы времени (диапазоны, кванты, квазистационарные отрезки времени), рис. 3. С учетом этого, контроль всей зоны или их совокупности отображается на всей временной оси. Выделенные стационарные фрагменты (временные «окна контроля») отдельных контролируемых КВЭ представляют собой сложный процесс (мультипликативную свертку), состоящий из суммы отдельных наложенных случайных подпроцессов в рамках данного КВЭ. При обработке этих подпроцессов необходимо обращение к БЗ с большим оперативным полем, охватывающим всю систему, за информацией более частного характера. Это обращение осуществляется согласно рассматриваемых подпроцессов, в зависимости от их количества, в рамках контролируемого КВЭ различной степени сложности, приоритетности аварийной ситуации

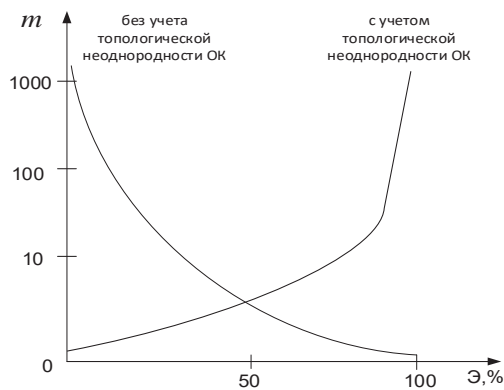


Рис. 2. График зависимости эффективности системы контроля от числа КВЭ

(динамики, скорости изменения) и др. С учетом этого имеется возможность в рамках данного КВЭ произвести свертку правил в конечный результат, разработку стека (абстрактный тип данных, представляющий собой список элементов, организованных по принципу *LIFO*), позволяющего осуществить сложение отдельных подпроцессов в единый вариационный ряд [2].

Контролируемые комплексы связи ТКС СН на различных уровнях управления МЧС

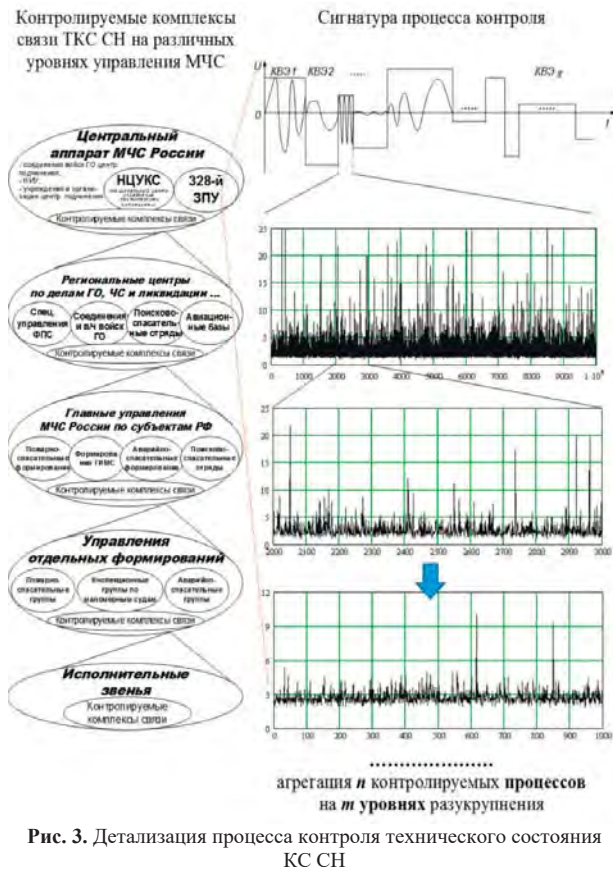


Рис. 3. Детализация процесса контроля технического состояния КС СН

5. Правило разграничения (распределения) контролируемых процессов, в соответствии с законами распределения, характеризуется количеством зон контроля, сложностью и другими особенностями рассматриваемых КВЭ, и определяемых, например: а) для стационарного характера потока ИИ – гауссовский закон распределения, гамма-распределение, равномерное распределение; б) для нестационарного характера потока ИИ – экспоненциальный, Вейбула, Парето, пуассоновский закон распределения, биномиальное распределение.

Таким образом, процесс обработки ИИ основан на работе с n числом распределений, равным или меньше числа зон контроля, а, соответственно, числа КВЭ. В связи с этим, распределение квазистационарных наблюдаемых процессов на выделенных временных «окнах контроля», осуществляется как распределение распределениями в рамках отдельного интервала времени при контроле КВЭ на k уровнях разукрупнения, характеризуемые на начальном, среднем и окончательном интервале этого временного окна.

6. Чет скорости развития аварийной ситуации в наблюдаемых зонах контроля влияет на частоту опроса и приоритетность КВЭ. Чем выше скорость изменения контролируемого параметра, тем выше должен быть приоритет обслуживания КВЭ, а также требуется повышение частоты опроса, пропорциональное изменяющейся динамике отклоняющегося от нормы значения контролируемого параметра (рис. 4) [37].

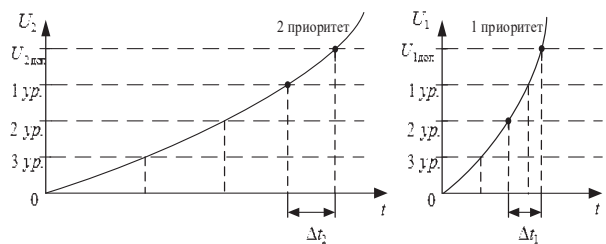


Рис. 4. Влияние динамики развития аварийной ситуации на приоритетность обслуживания КВЭ КС

7. Скорость реакции ИСК на изменение аварийной ситуации зависит от своевременного обновления ИИ, содержащейся в БЗ и используемой в настоящих правилах в соответствии со статусом результата контроля: подтвержденный, нормальный, ориентирующий, экстраполированный и недостоверный.

Статус «подтвержденный» указывает, что результат измерений подтвержден дополнительной информацией о исправности КВЭ или всей зоны контроля и риск использования недостоверного результата измерений пренебрежимо мал. Этот статус желателен при ПОР системой управления, например, управление режимом работы. Он может быть присвоен результату измерений, полученному от интеллектуального датчика, ИСК в целом при поступлении от них информации о исправности КВЭ.

Статус «нормальный» указывает, что риск использования недостоверного результата измерений невелик, что позволяет, например, принять решение по управлению оборудованием в обычных ситуациях.



Статус «*ориентирующий*» указывает, что риск использования недостоверного результата измерений повышен из-за появления дефекта, отказа в КВЭ, но результат измерений может быть применен для ориентировочной оценки ТС оборудования и хода контролируемого технологического процесса. Данный статус достаточен для принятия решения в случае, например, когда параметры процесса функционирования КС далеки от предельно допустимых. Присвоение результату измерений статуса «ориентирующий» указывает на необходимость выполнения обслуживания КВЭ или измерительной системы и установления сроков этого обслуживания.

Статус «*экстраполированный*» указывает, что в качестве результата измерений используется результат, полученный путем экстраполяции данных из предыдущего интервала времени, поскольку поступающая ИИ недостоверна в течение известного интервала времени. Такой статус дает основание, например, для задержки ПОР по управлению КС до появления достоверной ИИ или принятия некоего осторожного решения, ориентируясь на гипотезу, что в течение этого известного интервала времени ТС КВЭ и ход контролируемого процесса функционирования КС не претерпевает заметных изменений.

Статус «*недостоверный*» указывает, что риск использования недостоверного результата измерений велик. Следует принять решение об отключении КС и выполнении ТО или резервирования КВЭ КС.

Совокупность статусов «подтвержденный» или «нормальный», а также «ориентирующий» и «недостоверный» соответствует трехзонной системе оценки риска согласно графа состояний ОК (аварийное, предаварийное, нормальное) [2, 37].

8. Для повышения точности, достоверности идентификации (процессов контроля, диагностики) необходимо введение адресного пространства КВЭ. Для этого за каждым КВЭ должны закрепляться номера ОК с признаком зоны контроля (номер зоны контроля). Это позволяет вводить для каждого номера ОК свой набор правил (используется тот или иной метод контроля, оценивания). Это также может быть применимо при диагностике неисправностей в ходе профилактических работ.

9. При повышении степени оперативности проводимых работ необходимо введение ускоренного алгоритма контроля, суть которого сводится к параллельной обработке ИИ, поступающей с КВЭ (однородных и неоднородных), что обуславливает повышение производительности ИСК, причем число потоков зависит от числа различных по неоднородности зон контроля. Особенностью системы контроля является немедленная реакция на корректировку аварийной ситуации, что определяется *on-line* обновлением ИИ о ТС ОК в БЗ ИСК [15, 16, 32, 44].

Таким образом, предлагаемая метамоделю представления знаний, а также правил их применения, является ключевой в модели интеллектуального контроля ТС КС СН, и состоящей из перечня взаимосвязанных понятий, совместно со свойствами и характеристиками, классификацией этих понятий по типам, ситуациям, признакам в данной предметной области и законов протекания процессов в ней. Представленная образно-понятийная модель знаний ИСК дает оператору (ЛПР) в человеко-машинной системе управления целостную картину

и поэтому обеспечивает возможность соотносить разные части процесса с целым, а, соответственно, и действовать эффективно, тем самым обеспечивая устойчивое функционирование территориально распределенной ТКС СН.

Принципы и требования, предъявляемые к построению интеллектуальных систем контроля

Функционал ИСК ТС КС территориально распределенной ТКС СН должен включать комплекс мероприятий, проводимых, с целью информационного обеспечения ОУ (для своевременности ПОР по управлению КС) и поддержания КС в исправном (работоспособном) состоянии. Поэтому, основными принципами построения ИСК являются [2]:

1) принцип интеллектуализации, заключающийся в разработке и введении в ИСК элементов, обеспечивающих выполнение операций преобразования, обработки и др. функциональных задач с элементами искусственного интеллекта: самообучения, самовосстановления (при возникновении единичных дефектов в датчике, контроллере и др. элементах), автоматической коррекции погрешности, появившейся в результате воздействия влияющих величин (ДФ), что, в целом, обеспечивается функционированием базы знаний (правил) на всех этапах контроля;

2) обеспечение объема контроля, т. е. достаточности ИИ об аварийных ситуациях на элементах КС в необходимом количестве и качестве для обеспечения наблюдаемости и определения вида его ТС. По результатам наблюдения должны своевременно вырабатываться управляющие воздействия, которые обеспечивают необходимый «запас» устойчивости КС СН;

3) принцип достаточности, регламентирующий выбор минимального числа интеллектуальных датчиков, сопровождающих работу КС и обеспечивающих наблюдаемость его ТС. При этом выходной сигнал датчиков может быть представлен в широком диапазоне амплитуд и частот с последующей обработкой его на ЭВМ (обнаружением, фильтрацией, линейризацией, коррекцией амплитудно-фазовых характеристик и т. д.);

4) принцип информационной полноты, отражающий ограниченность наших знаний об окружающем мире и в общем виде может быть сформулирован так, что помимо известных нам диагностических признаков выделяют остаточный «шум», характеристики которого также используют для последующей диагностики. При достаточно общих условиях такая система признаков почти ортогональна, то есть каждый из признаков отражает свой класс неисправностей;

5) принцип инвариантности, регламентирующий выбор и селекцию таких диагностических признаков, которые инвариантны к конструкции оборудования и форме связи с параметрами ее ТС, что обеспечивает применение интеллектуальных процедур без эталонной диагностики и прогнозирования ресурса техники связи, и, соответственно, быстрые темпы разработки и внедрения интеллектуальных технологий в ИСК;

6) принцип самодиагностики всех измерительных и управляющих каналов ИСК, который реализуется подачей специальных стимулирующих сигналов в цепь датчика и компьютерного анализа этого сигнала на выходе системы. Таким



образом, проверяется функционирование всего тракта ИСК от датчика до компьютерной программы и средств отображения результатов контроля. Реализация этого принципа обеспечивает легкий пуск систем в эксплуатацию, простоту обслуживания и ремонта отдельных каналов, высокую метрологическую и функциональную надежность системы, ее выживаемость и приспособляемость к постоянно меняющимся условиям;

7) принцип структурной гибкости и программируемости, обеспечивающий реализацию оптимальной параллельно-последовательной структуры интеллектуальной системы, исходя из критериев необходимого быстродействия (при минимальной стоимости). Системы с параллельной сосредоточенной структурой (*VME-VXI*) имеют максимальное быстродействие (при максимальной стоимости). Системы с последовательной распределенной структурой имеют минимальное быстродействие при минимальной стоимости. Системы с последовательно-параллельной структурой занимают промежуточное положение. Главным недостатком применения параллельных систем во взрывопожароопасных объектах является большой расход кабеля, стоимость которого соизмерима со стоимостью ИСК. Выбор структуры системы (степени параллельности) требуют оценки ее необходимого быстродействия. Последнее определяется скоростью деградации технического состояния КВЭ КС;

8) принцип коррекции неидеальностей измерительных трактов вычислительными методами на ЭВМ – нелинейности датчиков, амплитудно-фазовых характеристик преобразовательных трактов и др., что обеспечивает высокую точность и стабильность метрологических характеристик ИСК;

9) принцип дружелюбности интерфейса при максимальной информационной емкости, обеспечивающий восприятие оператором ТС КС в целом и получение целеуказующего предписания на ближайшие неотложные действия. Осуществление этого принципа возможно только при наличии ЭВМ, комплексно отражающими ТС КС и их свойства в автоматическом режиме и под управлением оператора, средств мультимедиа и встроенной экспертной системы, диагностирующей ТС КС и его элементов;

10) принцип многоуровневой организации, обеспечивающий работу с системой специалистам разных уровней квалификации. Многоуровневость ИСК определяется сложностью КС СН, ее принадлежностью и местом расположения.

Таким образом, сформулированные общие принципы организации и планирования ИСК технического состояния КС СН в системном аспекте рассматривают территориально распределенную ТКС СН с общих позиций, независимо от применяемых технологий.

Анализ принципов создания интеллектуальных систем, применяемых для решения трудно формализуемых задач в различных областях исследований, позволяет сформулировать исходные положения и понятия для ИСК, определить принципы их структурного построения и пути их практической реализации применительно к решаемой задаче. При этом основные исходные положения сводятся к следующему [41]:

а) знания ИСК носят специальный характер, свойственный только определенной узкой области их применения и рассчитываются на конкретных пользователей;

б) эффективность ИСК зависит от мощности БЗ и возможностей по ее расширению;

в) пользователь (оператор, ЛПР) имеет возможность непосредственного взаимодействия с ИСК в форме диалога.

В целях формирования технологической и технической основ формирования структуры ИСК должны разрабатываться следующие основные информационные модули [2]: 1) инструментального контроля ТС КС с использованием системы контроля в автоматическом (преимущественно) и автоматизированном режимах; 2) управления восстановительными процессами КС; 3) сбора, хранения, актуализации информации о ТС КС, качестве телекоммуникационных ресурсов на действующих связях; 4) анализа динамики деградационных изменений параметров КС, характеристик каналов, трактов и сетевых ресурсов, прогнозирования расхода ресурса КС, снижения готовности, возникновения инцидентов и проблем при эксплуатации КС; 5) модерации и обновления БЗ по порядку и методам выполнения измерений и операций диагностирования КС, актуализации библиотеки алгоритмов контроля и диагностирования, в том числе, в формате специализированного программного обеспечения (СПО).

При этом ИСК КС СН должна обеспечивать: 1) информационно-техническое взаимодействие с программно-техническими средствами автоматизации управления объекта; 2) автоматизированный контроль состояния информационных каналов и трактов передачи информации объекта; 3) интеллектуальный контроль параметров и ТС КС и автоматизированного управления объекта, в том числе с возможностью удаленного доступа (дистанционно) без демонтажа аппаратуры; 4) интеллектуальный контроль состояния объектовой локальной вычислительной сети (ЛВС) без перерыва связи с возможностью регистрации несанкционированного доступа к среде распространения – оптическому волокну, обнаружения обрыва и постепенной деградации характеристик элементов волоконно-оптического тракта информационных трактов объекта; 5) контроль помеховой обстановки объекта; 6) автоматизированное измерение характеристик внешних и внутренних интерфейсов средств связи и автоматизированного управления КС на физическом и канальном уровнях; 7) сбор, обобщение и анализ данных о ТС КС и его автоматизированном управлении, прогнозирование отказов и коллизий вследствие постепенной деградации параметров и характеристик технических средств; 8) предоставление должностным лицам в части технического обеспечения (операторам) объекта вспомогательной справочной информационной БД по технологии проведения технического обслуживания (ТО) и ремонта, проведения операций измерений и диагностирования, а также содержащей необходимые инструкции, руководства и схемы оборудования; 9) автоматическую регистрацию и сбор ИИ в режиме реального времени, с записью результатов на носитель информации для последующего анализа, обработки и хранения результатов оценки ТС КС и его автоматизированном управлении; 10) формирование, хранение и печать отчетов по результатам проведения ТО и текущего ремонта КС и его автоматизированном управлении; получение, обработку и хранение ИИ.



Построение интеллектуальной системы контроля

Учитывая существующий задел в части создания инфраструктурных подсистем межведомственных АСУ (в рамках создания межведомственных ЕИУП), информационные модули сбора, хранения, актуализации информации о техническом состоянии КС СН должны использовать часть выделенных для этих целей вычислительных ресурсов центров обработки данных (ЦОД). Это позволит отказаться от дополнительного парка серверного оборудования и систем хранения данных, сократить затраты на эксплуатацию, обслуживание и модернизацию аппаратной части системы контроля, повысить сохранность и защиту информации за счет собственных надежных инструментов и механизмов ЦОД [2].

Существующие схемы построения систем контроля имеют ограниченный инструментарий или не имеют интеллектуализированной поддержки, реализуемой БЗ (правил), имеющих методический инструментарий, что не в полной мере позволяет обеспечить высокую оперативность при требуемой достоверности, и, в целом, эффективность контроля. В связи с этим, существует необходимость проведения работ по исследованию возможности, с одной стороны, упрощения систем контроля, повышению их надежности, с другой стороны – и повышению оперативности при требуемых достоверности и точности измерений путем внедрения интеллектуальных технологий.

На рисунке 5 отображена структура предлагаемой ИСК на основе обработки накопленных данных и потоковых данных, которая состоит из трех методологических модулей: оффлайн-анализа данных, онлайн-анализа данных и поддержки принятия решений [42].

Важным элементом для проектирования ИСК являются процессы мониторинга, контроля и накопления данных о поведении анализируемой системы (ТКС СН).

Для обеспечения работы предложенной ИСК могут быть использованы данные мониторинга состояния ОК (КС СН) и эксплуатационных условий, такие как влажность, температура и др., а также событийные данные о неисправностях, отказах и т. д. Перед сбором данных важно определить: а) выделение в зонах контроля КВЭ (выполняется на основе различных видов анализа, таких как функциональный анализ, дисфункциональный анализ, анализ критичности, накопленный опыт и др.); б) параметры ЭК, а также все подлежащие контролю параметры (полный контроль); в) сенсорный уровень ИСК (интеллектуальные датчики) для отслеживания процесса деградации оборудования. После сбора, полученные данные должны храниться в системах БД для последующей обработки.

Модуль оффлайн-анализа данных осуществляет анализ исторически накопленных данных, полученных из однотипных систем с использованием различных алгоритмов машинного обучения, глубоких нейронных сетей и технологий инженерии признаков, преобразования данных для формирования моделей, позволяющих реализовать обнаружение и диагностику неисправностей, прогнозирование остаточного ресурса элементов КС и т. д. [42, 45, 46].

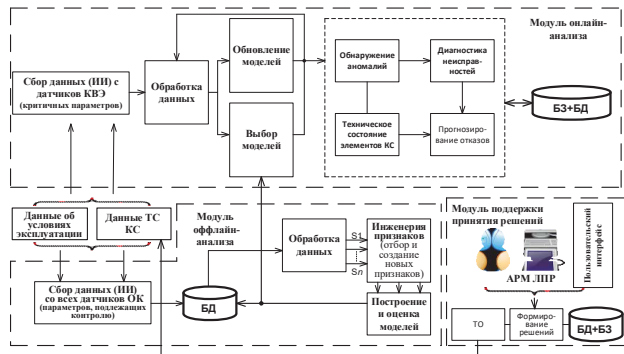


Рис. 5. Предложенная архитектура интеллектуальной системы контроля ТКС СН

Эти модели оцениваются и выбираются для последующего использования в модуле онлайн-анализа данных. Для создания прогнозирующих моделей могут быть использованы методы опорных векторов (*SVM*), деревья решений (*CART*), случайный лес (*RF*), экстремальный метод градиентного бустинга (*XGBoost*), сети долгой краткосрочной памяти (*Long short-term memory, LSTM*), сверточные нейронные сети (*Convolutional Neural Network, CNN*) и др. Кроме того, известны [2, 47, 49] алгоритмы для раннего обнаружения неисправностей в ТО, такие как скрытые марковские модели, модель *ARIMA*, *LSTM*-автоэнкодеры и др.

Модуль онлайн анализа данных осуществляет сбор новых данных в реальном времени только из КВЭ, выбранных на основе анализа в модуле оффлайн-анализа данных. Выбранные из модуля оффлайн-анализа данных модели используются для определения и прогнозирования состояния КС в реальном времени. Однако эти модели в процессе использования на потоковых данных в реальном времени могут устареть в силу многих факторов, например, возможности возникновения новых типов неисправностей, на которых модели не обучались в прошлом. Поэтому возникает необходимость переобучения и обновления моделей. Модуль онлайн-анализа данных предложенной ИСК предусматривает решение и этой проблемы.

Модуль принятия решений по результатам контроля осуществляет оптимальное планирование ТО и ремонта (через ОУ системы мониторинга КС). Информация, полученная в процессе контроля и прогнозирования в модуле онлайн-анализа данных, используется для выработки рекомендаций по оптимальному использованию элементов КС в режиме онлайн.

В этом модуле предоставляется пользовательский интерфейс, обеспечивающей передачу ИИ между пользователем-человеком и программно-аппаратными компонентами системы о результатах процесса анализа (обнаружение/диагностика/прогнозирование), а также визуализации потоковых данных в реальном времени. На их основе при необходимости формируются оптимальные управления по реконфигурации сети, изменении ее топологии, а в дальнейшем по ТО и ремонту.

Архитектура предлагаемой ИСК ТС одного из КС территориально распределенной ТКС СН представлена на рис. 6. Представленная архитектура соответствует исходным положениям (принципам) и определениям ИСК как производной системы [2, 42].

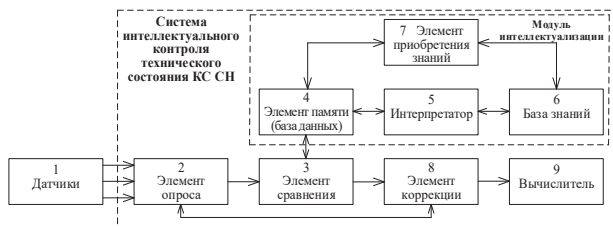


Рис. 6. Архитектура интеллектуальной системы контроля технического состояния КС СН

В соответствии с первыми двумя принципами система оценивания должна включать два компонента: а) решатель (интерпретатор), осуществляющий процедуры вывода; б) динамически изменяемую БЗ.

Выбор в качестве основы для реализации решателя производной системы предопределяет наличие в системе оценивания также рабочей памяти (БД).

Третий принцип предъявляет к системе требования по обмену информацией на языке, удобном пользователю, и приобретению новых знаний, а также логике решения задач для модификации БЗ. Подобные требования реализуются элементом приобретения знаний в модуле интеллектуализации системы контроля.

Основными элементами, реализующими правила и процедуры оценивания в ИСК являются: модуль интеллектуализации; элемент опроса приемников ИИ (датчиков); элемент сравнения (сопоставления) полученных сигналов с информацией априорной БЗ; элемент коррекции области работоспособности (прогнозирование, определения запаса работоспособности) и вычислитель [41, 46, 48].

Модуль интеллектуализации включает: БЗ, содержащую правила решения задачи; интерпретатор, решающий на основе знаний, имеющихся в системе, предъявляемую ему задачу; элемент приобретения знаний, обеспечивающий аргументацию действий и рекомендаций системы на понятном для пользователя языке; БД (элемент памяти), через которую вариант действий передается в элемент сравнения системы.

Согласно обобщенной модели знаний для интеллектуального контроля ТС КС (см. рис. 1), возможно выделение двух уровней представления знаний: первый уровень – собственно ИИ; второй уровень – описания, отношения, правила и процедуры, определяющие способ манипулирования ИИ.

Помимо знаний о предметной области (контроля, оценивания) в БЗ должны храниться и другие типы знаний: модель ОК, знания о пользователе, целях и задачах прогноза, диагностики и др. Эти знания в основном содержатся на втором уровне представления в виде блоков моделей знаний или правил.

Существуют различные варианты как организации самой БЗ, так и ее взаимодействия с другими компонентами интеллектуальной системы оценивания. В моделируемой ИСК, работающей в режиме реального времени, реализуется уровень метазнаний, который необходим для рационализации процессов оперирования знаниями в БЗ, уменьшения области поиска решения, сокращения времени обработки информации. Метазнания в представленной БЗ – это есть знания о системе контроля, оценивания: об ее архитектуре, принципах функционирования и т. д. На основе этих знаний в блоке метазнаний среди имеющегося набора стратегий поиска определяется наиболее эффективная стратегия (рис. 7).

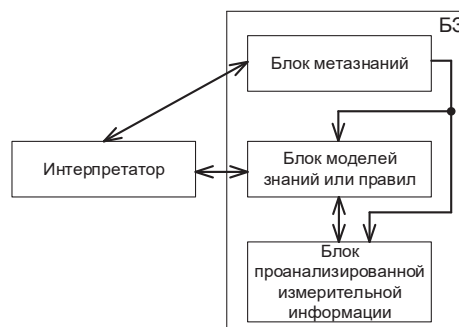


Рис. 7. Обобщенная структура базы знаний ИСК

В БЗ представлена как ИИ, так и правила. Вывод решения либо генерация новых правил и знаний осуществляется с помощью интерпретатора, рациональным образом реализующего механизм вывода решений. Интерпретатор взаимодействует с блоком метазнаний при интерпретации правил и данных БЗ. В интерпретатор поступают описания запроса или решаемой задачи и данные из БД, а также правила, процедуры или стратегия механизма вывода из БЗ. Интерпретатор на основе входных данных, производных правил и сведений о проблемной области формирует решение задачи.

Процесс функционирования ИСК, сопровождающийся различными нештатными ситуациями в СЛО, характеризуется пополнением БЗ новыми знаниями (правилами). Объединение вновь вводимых правил с БЗ осуществляется элементом приобретения знаний (см. рис. 6). Достаточность знаний определяется элементом сравнения (например, в режиме тестирования).

В круг вопросов, рассматриваемых при организации знаний, включаются следующие: определение состава знаний, организация знаний, модели представления знаний и их использование в ИСК. При этом важнейшим свойством ИСК, с точки зрения представления знаний, считается ее способность использовать в нужный момент необходимые (релевантные) знания.

Реализация базы знаний системы интеллектуального контроля

В основу структуры БЗ положен ряд функций, которые должна выполнять система управления знаниями в определенном министерстве (ведомстве) (рис. 8) [41, 43, 46]:



1. Агрегация существующего в министерстве (ведомстве) контента (систематизация): агрегация зафиксированных по установленным правилам процессов отслеживания ИИ и результатов идентификации состояний контролируемых КС, а также их запись в БЗ с помощью специальных средств;

2. Поиск по систематизированным данным контроля: разработка подсистемы поиска систематизированных результатов контроля на основании иерархии уровней управления и степени важности элемента КС, его КВЭ;

3. Извлечение знаний из результатов контроля (ИИ): выделение понятий и логических связей между ОК для формализации структуры контролируемой ТКС (формализация) и представления знаний, содержащихся в результатах контроля (семантизация); построение семантических связей между контролируемыми объектами, процессами контроля (объектами предметной области);

4. Семантический поиск по извлеченным знаниям: разработка подсистемы семантического поиска извлеченных знаний.

5. Интеграция контента: интеграция контента между существующими системами мониторинга, информационно-измерительными системами (ИИС) в межведомственных ЕИУП.

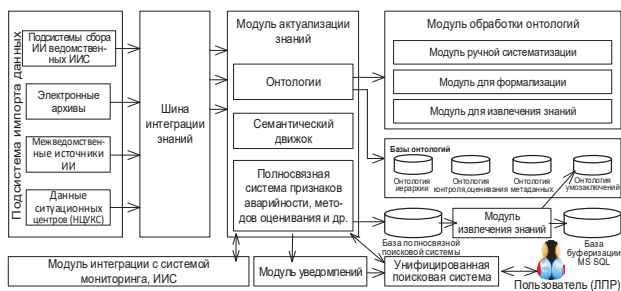


Рис. 8. Структура системы управления знаниями

БЗ включает полносвязную поисковую систему признаков аварийности, методов оценивания, идентификации, онтологию и компонент семантического поиска. Атрибуты систематизированных данных контроля, классов состояний КС и др. хранятся в онтологии, а само содержание – в полносвязной поисковой системе. Для организации полносвязной системы можно использовать ElasticSearch, основанный на библиотеке Lucene [41], под управлением серверного языка PHP. Загружаемый в полносвязную поисковую систему контент проходит предварительную обработку в зависимости от загружаемого формата. Для хранения онтологии может быть использовано программное средство – RDF-хранилище (инструмент неструктурированных данных). Для формирования онтологии может использоваться Java-программа, например, Protege, включающий редактор онтологий, и, в целом, позволяющий проектировать онтологии, разворачивая иерархическую структуру конкретных классов и слотов. В основе компонента семантического поиска может быть использован язык SPARQL для поиска по онтологии и язык запросов ElasticSearch Query DSL [41].

Для извлечения информации из существующих систем мониторинга, информационно-измерительных систем разработаны коннекторы для каждого используемого хранилища.

Доступ к БЗ компонент семантического поиска получает через оболочку MS SQL Server за счет связи объектов полносвязной поисковой системы и онтологии. Шина интеграции данных состоит из множества коннекторов. Загрузка информации проходит по единому протоколу с логированием данных.

Систематизация данных может быть реализована двумя способами: в автоматическом и ручном режимах. Автоматический режим реализуется с помощью коннекторов к существующим информационным источникам и шины данных, необходимой для обработки и загрузки информации в БЗ. Для ручного режима разработан интерфейс на базе серверного языка программирования PHP для корректировки онтологии и наполнения классов экземплярами. Серверная часть интегрирована с MS SQL Server и может работать с клиентской частью с помощью подхода к построению интерактивных пользовательских интерфейсов веб-приложений (на примере технологии AJAX).

Формализация данных должна включать программное обеспечение для фиксации формализованных элементов ИИ и сохранения в онтологическое дерево [41].

Исходя из приведенных выше требований, архитектура программного средства включает следующие модули (см. рис. 6):

модуль интеграции с файловым сетевым хранилищем, обеспечивающий чтение и загрузку информации с сетевого файлового диска. Загрузка информации в БЗ сопровождается корректировкой дерева онтологии в соответствии со структурой сетевого диска. Доступ к экземплярам объекта предоставлен на основании NTFS-прав на соответствующие каталоги;

модуль уведомлений об изменениях, который включает интерфейс для настройки списка уведомлений по каждому необходимому каталогу. Интерфейс включает возможность настройки наследования прав доступа для уведомления, например, об изменениях статуса аварийности объектов;

модуль актуализации знаний, состоящий из набора расписаний, в соответствии с которыми происходит проверка существующей информации в БЗ и проходит актуализация информации. Механизм проверки на актуальность информации, хранящейся в БЗ, реализован с помощью проверки атрибутов экземпляров, хранящихся в онтологии, и проверки контрольных сумм файлов, хранящихся в полнотекстовой поисковой системе;

модуль интеграции с информационной системой, который включает механизм отображения объекта первоисточника. В роли объектов могут выступать файлы или собственные формы отображения информационной системы. Отображение объекта выполняется в соответствии с правами доступа, зафиксированными в информационной системе, в которых они находятся.

Таким образом, функционирование базы знаний ИСК исходя из представленной архитектуры программного средства позволит в автоматическом режиме получать знания из информации, хранящейся в различных измерительных системах межведомственной ЕИУП.



Заключение

На основе анализа процессов контроля технического состояния КС СН показано, что для разработки перспективных систем контроля технического состояния межведомственных ТКС СН обосновано использование новых методов контроля с использованием технологий искусственного интеллекта, преумножающих эффективность процесса контроля.

Представлена архитектура ИСК, функционирование которой основано на обращении к базе знаний, накапливаемых в процессе эксплуатации КС ТКС СН, относительно работы которой нет ограничений как по масштабу территориальной распределенности КС, так и по их неоднородности, и основанной на методах теории искусственного интеллекта.

Представлена структура базы знаний и процесс ее функционирования. Пополняемая, обновляемая и аккумулирующая в себе опыт эксплуатации и процессов контроля состояния КС база знаний позволяет провести более быструю оценку технического состояния перспективных ТКС СН и сконцентрироваться там, где выявлено наиболее уязвимое, разрушающее, деструктивное воздействие и, как следствие, наиболее вероятен отказ критически-важного элемента КС, за счет анализа уровней разукрупнения.

Литература

1. Зацаринный А. А., Шабанов А. П. Технология информационной поддержки деятельности организационных систем на основе ситуационных центров. М.: ТОРУС ПРЕСС, 2015. 232 с.
2. Винограденко А. М. Методология интеллектуального контроля технического состояния автоматизированной системы связи специального назначения. Монография. СПб.: Научное издание, 2020. 180 с.
3. Чирков В. В. Единое информационно-управляющее пространство ВМФ – современная технология превосходства над противником в вооруженной борьбе на море // Морская радиоэлектроника. №4(42), 2012. С. 2-9.
4. Будко П. А., Кулешов И. А., Курносков В. И., Мирошников В. И. Инфокоммуникационные сети: энциклопедия. Кн. 4. Гетерогенные сети связи: принципы построения, методы синтеза, эффективность, цена, качество / под ред. проф. В. И. Мирошникова. М.: Наука, 2020. 683 с.
5. Охтилев П. А., Бахмут А. Д., Крылов А. В., Охтилев М. Ю., Соколов Б. В. Подход к оцениванию структурных состояний сложных организационно-технических объектов на основе обобщенных вычислительных моделей // Научное издание в космических исследованиях Земли. 2017. Т. 9. № 5. С. 73-82.
6. Буренин А. Н., Легков К. Е. Системный подход к формированию структуры подсистем мониторинга автоматизированных систем управления инфокоммуникациями // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2016. Т. 10. № 8. С. 46-50.
7. Охтилев М. Ю., Соколов Б. В., Юсупов Р. М. Интеллектуальные технологии мониторинга состояния и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.
8. Винограденко А. М., Будко Н. П. Адаптивный контроль технического состояния сложных технических объектов на основе интеллектуальных технологий // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Т. 14. № 1. С. 25-35. DOI: 10.36724/2072-8735-2020-14-1-25-35
9. Budko P. A., Vinogradenko A. M., Mezhenov A. V., Zhuravlyova N. G. Method of adaptive control of technical states of radio-electronic systems // Advances in Signal Processing. Theories, Algorithms, and System Control. Intelligens Systems Reference Library. Springer-Verlag 2020. Vol. 184. Chapter 11. Pp. 137-151.
10. Cojoacă I.-A., Bulac C., Popîrlan C.-I. A Proposed Multi-Agent Based Platform for Monitoring and Control of Active Power Distribution Systems, In: Proceedings of the 2021 3rd Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM). 2021. Pp. 214-219.
11. Galanis I., Olsen D., Anagnostopoulos I. A multi-agent based system for run-time distributed resource management, In: Proceedings of the 2017 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), 2017. Pp. 1-4.
12. Priyadarshana H. V. V., Madushanaka W. K. I., Anuruddha L. L. L., Chathura G. T., Hettiarachchi H. W. D., Hemapala K. T. M. U. Multi-agent controlled building management system, In: Proceedings of the 2017 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT), 2017. Pp. 1-5.
13. Kotenko I., Saenko I., Ageev S. Monitoring the State of Elements of Multi-service Communication Networks on the Basis of Fuzzy Logical Inference, In: Proceedings of the Sixth International Conference on Communications, Computation, Networks and Technologies (INNOV-2017), 2017. Pp. 26-32.
14. Tsvetkov V. Y. Intelligent control technology, Russian Journal of Sociology. No. 2. 2015. Pp. 97-104. (In Russian)
15. Aliev T. A., Abbasov A. M., Guluyev Q. A., Pashaev F. H., Sattarova U. E. System of robust noise monitoring of anomalous seismic processes, Soil dynamics and earthquake Eng. No. 32. 2013. Pp. 11–25.
16. Kotenko I. V., Budko P. A., Vinogradenko A. M., Saenko I. B. An Approach for Intelligent Evaluation of the State of Complex Autonomous Objects Based on the Wavelet Analysis // The 18th International conference on intelligent software methodologies, tools and techniques (SOMET'2019) – Kuching, Sarawak, Malaysia, 23-25 September 2019. Pp. 25-38.
17. Porsev K. I., Sorokin A. V. Management of Innovations and Knowledge in the Structure of the Enterprise Integrated Information Environment, In: Proceedings of the 2020 International Conference Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&QM&IS), 2020. Pp. 283-285.
18. Simoens P., Dragone M., Saffiotti A. The Internet of Robotic Things: A review of concept, added value and applications, International Journal of Advanced Robotic Systems No. 1-2, 2018. Pp. 1-9. (In Russian)
19. Centelles R., Selimi M., Freitag F., Navarro L. REDEMON: Resilient Decentralized Monitoring System for Edge Infrastructures. Conference proceedings. 2020 20th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Internet Computing (CCGRID), Melbourne, Australia. 2020. Pp. 91-100.
20. Shan L., Yu J., Zhang J., Li Y., Zhou E., Zhao L. Distributed State Estimation Based on the Realtime Dispatch and Control Cloud Platform, In: Proceedings of the 2018 2nd IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2), 2018. Pp. 1-6.
21. Chen S., Bateni S., Grandhi S., Li X., Liu C., Yang W. DENAS: automated rule generation by knowledge extraction from neural networks, In: Proceedings of the 28th ACM Joint Meeting on European Software Engineering Conference and Symposium on the Foundations of Software Engineering, 2020. Pp. 813-825.
22. Zelensky E. G., Kononov Y. G., Fedorenko V. V., Vinogradenko A. M., Samoylenko V. V. Development of a distributed multi-agent system monitoring and control networks of 0.4–35 kV, In: Proceedings of the 2017 IEEE II International Conference on Control in Technical Systems (CTS). Sankt-Petersburg, 2017. Pp. 271-274.
23. Федоренко В. В., Винограденко А. М., Самойленко В. В., Педан А. В. Подход к интеллектуальному мониторингу технического состояния сложных динамических объектов на основе систем поллинга // Материалы XXII международной конференции «Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисления, коммуникации». ИПУ. РАН. Москва, Россия. 23-27 сентября 2019. Т. 1141. С. 560-573.



24. Боровская Е. В., Давыдова Н. А. Основы искусственного интеллекта. М.: Лаборатория знаний, 2020. 130 с.
25. Kotenko I., Saenko I., Ageev S. Implementation of Intelligent Agents for Network Traffic and Security Risk Analysis in Cyber-Physical Systems // In: Proceedings of the 11th International Conference on Security of Information and Networks (SIN'18). 2018. Article 22. ACM. NY. 4 p.
26. Budko P. A., Vinogradenko A. M., Fedorenko V. V., Pedan A. V. Approach to the intellectual monitoring of the technical condition of difficult dynamic objects on the basis of the systems of a polling // The 22nd International conference «Distributed computer and communication networks: control, computation, communications» (DCCN-2019). Moscow, Russia, 23–27 September 2019. Vol. 1141. Springer, Cham. Pp. 560-573.
27. Simoens P., Dragone M., Saffiotti A. The Internet of Robotic Things: A review of concept, added value and applications // International Journal of Advanced Robotic Systems I-II. 2018. Pp. 1-9.
28. Ramakrishna J. S., Ramasangu H. Classification of Cognitive State Using Clustering Based Maximum Margin Feature Selection Framework, In: Proceedings of the 2017 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), 2017. Pp. 1092-1096.
29. Егорьев С. М., Малыгин И. Г., Комашинский В. И., Аванесов М. Ю. Предложения по стратегии развития технологий искусственного интеллекта в транспортной отрасли России // Информация и космос. 2020. № 2. С. 56-61.
30. Власов И. И., Новиков Э. В., Птичников М. М., Сладких Д. В. Техническая диагностика современных цифровых сетей связи. Основные принципы и технические средства измерений параметров передачи для сетей PDH, SDH, IP, Ethernet и ATM. М.: Горячая линия–Телеком, 2015. 480 с.
31. Яшин А. И., Будко П. А., Винограденко А. М. Интеллектуальный контроль технического состояния морского робототехнического комплекса // Морская радиоэлектроника. 2020. № 1 (71). С. 48-53.
32. Будко П. А., Винограденко А. М., Меженев А. В., Чикирев А. А. Способ и устройство интеллектуального экспресс-контроля технического состояния наземных средств связи и радиотехнического обеспечения полетов // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 1. С. 235-283. DOI:10.24411/2410-9916-2020-10108
33. Саенко И. Б. Теоретические основы многомерно-реляционного представления данных и их применение для построения баз данных АСУ связью. СПб.: ВУС, 2001. 176 с.
34. Цветков В. Я., Титов Е. К., Булгаков С. В., Рогов И. Е. Мета-моделирование в геоинформатике // Информация и космос, 2020. № 1. С. 112-119.
35. Стюарт Рассел, Питер Норвиг Искусственный интеллект. Современный подход. М.: ИД «Вильямс», 2015. 1408 с.
36. Абрамов О. В. Прогнозирование состояния и планирование эксплуатации систем ответственного назначения // Надежность и качество сложных систем. 2020. № 3 (31). С. 5-14.
37. Будко П. А., Винограденко А. М. Кузнецов С. В., Гойденко В. К. Реализация метода многоуровневого комплексного контроля технического состояния морского робототехнического комплекса // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 4. С. 71-101.
38. Подиновский В. В. Идеи и методы теории важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений. М.: Наука, 2019. 103 с.
39. Поспелов Д. А. Искусственный интеллект. Модели и методы. Справочник. М.: Радио и связь, 1990. 304 с.
40. Поспелов Д. А. Логико-лингвистические модели в системах управления. М.: Энергоиздат, 1981. 232 с.
41. Подобрий А. Н., Тимирязнов В. В., Перцев А. А. Архитектура построения базы знаний проектной организации // Автоматизация процессов управления. 2021. № 4 (66). С. 28-38.
42. Сай Ван Квонг, Щербаков М. В. Архитектура системы предсказательного технического обслуживания сложных многообъектных систем в концепции Индустрии 4.0 // Software & Systems. 2020. № 2 (33). С. 186-194.
43. Винограденко А. М., Гойденко В. К., Меженев А. В. Алгоритм формирования базы состояний программно-аппаратного комплекса связи на основе тепловых прогнозов с использованием вейвлет-преобразований // Материалы IV межвузовской научно-практической конференции «Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях». (Санкт-Петербург, 06 февраля 2019 г.). Санкт-Петербург, 2019. Том 1. С. 199-204.
44. Винограденко А. М., Меженев А. В., Будко Н. П. К вопросу обоснования понятийного аппарата неразрушающего экспресс-контроля технического состояния оборудования системы связи и радиотехнического обеспечения аэродрома // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2019. Т. 11. № 6. С. 30-44.
45. Сириченко А. В. Интеллектуальные системы контроля и управления. М.: МИСИС, 2020. 24 с.
46. Винограденко А. М. Метод синтеза интеллектуальных систем контроля технического состояния комплексов связи специального назначения // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2020. № 4. С. 22-31.
47. Абрамкин Р. В., Винограденко А. М. Способ идентификации технического состояния систем электроснабжения и устройство для его реализации // I-Methods. 2021. Т. 13. № 4. С. 1-20.
48. Абрамкин Р. В., Бартош В. В., Винограденко А. М., Веселовский А. П. Интеллектуальные системы контроля технического состояния источников автономного электроснабжения полевых объектов связи // Техника средств связи. 2020. № 1 (149). С. 16-27.
49. Винограденко А. М. Интеллектуальное оценивание технического состояния сложных технических объектов // Техника средств связи. 2021. № 4 (156). С. 2-19.
50. Будко П. А., Винограденко А. М., Литвинов А. И. Экспериментальные исследования кинетического метода контроля и диагностики технических средств // Мехатроника, автоматизация, управление. № 9 (162). 2014. С. 53-58.
51. Leturiondo U., Salgado O., Ciani L., Galar D. Marcantonio Catelani Architecture for hybrid modelling and its application to diagnosis and prognosis with missing data // Measurement, № 108. 2017. Pp. 152-162.



ARCHITECTURE OF AN INTELLIGENT SYSTEM FOR MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF EVOLVING SPECIAL-PURPOSE COMMUNICATION COMPLEXES

ALEKSEY M. VINOGRADENKO

St. Petersburg, Russia, vinogradenko.a@inbox.ru

KEYWORDS: *intelligent control system, communication complexes, special purpose telecommunication system, knowledge representation.*

ABSTRACT

The architecture and the principle of functioning of an intelligent system for monitoring the technical condition of communication complexes of an interdepartmental telecommunications system for special purposes is proposed. The processes of presenting and obtaining knowledge in the intelligent control system of the technical condition of heterogeneous communication complexes of a special-purpose telecommunication system, the rules of the control process, as well as the implementation of the knowledge base of a promising control system are described. **The purpose of the study:** to increase the effectiveness of control of communication complexes of a geographically distributed telecommunications system for special purposes by intellectualizing the control process and improving the architecture of advanced control systems. **Methods:** methods of multilevel synthesis of complex technical systems and methods of artificial intelligence theory. **Results.** The development of an intelligent system for monitoring the technical condition of communication complexes of an evolving special-purpose telecommunications system has been carried out. The processes of pre-

senting and obtaining knowledge in an intelligent system for monitoring the technical condition of special-purpose communication complexes are described. The rules of evaluation processes, control of the technical condition of heterogeneous communication complexes of an evolving telecommunication system are defined. The principles of structural construction, basic technologies and, based on them, the architecture of a promising control system are presented. The generalized structure of the knowledge base of the intellectual control system and the process of its functioning are described. **Practical significance.** Based on the formulated principles of functioning of the knowledge management system, a software implementation of the proposed intelligent system for monitoring the technical condition of communication complexes of an interdepartmental telecommunications system for special purposes within the framework of an interdepartmental unified management space is presented. In the proposed control system, the knowledge base includes a fully connected search engine for accident signs, assessment methods, identification, ontology and semantic search components.

REFERENCES

1. A. A. Zatsarinniy, A. P. Shabanov. Technology of information support of organizational systems based on situational centers. Moscow: TORUS PRESS, 2015. 232 p. (In Russian)
2. A. M. Vinogradenko. Methodology of intelligent control of the technical condition of the automated communication system for special purposes. Monograph. SPb.: High-tech technologies, 2020. 180 p. (In Russian)
3. V. V. Chirkov. The unified information and control space of the Navy is a modern technology of superiority over the enemy in the armed struggle at sea. *Morskaya radioelektronika*. 2012. No. 4 (42). Pp. 2-9. (In Russian)
4. P. A. Budko, I. A. Kuleshov, V. I. Kurnosov, V. I. Miroshnikov. Infocommunication networks: an encyclopedia. Book 4. Heterogeneous communication networks: principles of construction, synthesis methods, efficiency, price, quality. Moscow: Nauka, 2020. 683 p. (In Russian)
5. P. A. Ohtilev, A. D. Bahmut, A. V. Krilov, M. Yu. Ohtilev, B. V. Sokolov. An approach to assessing the structural states of complex organizational and technical objects based on generalized computational models. *H&ES Reserch*. 2017. Vol. 9. No. 5. Pp. 73-82. (In Russian)
6. A. N. Burenin, K. E. Legkov. A systematic approach to the formation of the structure of monitoring subsystems of automated infocommunication management systems. *T-Comm*. 2016. Vol. 10. No. 8. Pp. 46-50. (In Russian)
7. M. Yu. Ohtilev, B. V. Sokolov, R. M. Usupov. Intelligent technologies for monitoring the condition and managing the structural dynamics of complex technical objects. Moscow: Nauka, 2006. 410 p. (In Russian)
8. A. M. Vinogradenko, N. P. Budko. Adaptive control of the technical condition of complex technical objects based on intelligent technologies. *T-Comm*. 2020. Vol. 14. No. 1. Pp. 25-35. DOI: 10.36724/2072-8735-2020-14-1-25-35. (In Russian)
9. P. A. Budko, A. M. Vinogradenko, A. V. Mezhenov, N. G. Zhuravlyova. Method of adaptive control of technical states of radio-electronic systems. *Advances in Signal Processing. Theories, Algorithms, and System Control. Intelligens Systems Reference Library*. Springer-Verlag 2020. Vol. 184. Chapter 11. Pp. 137-151.
10. I.-A. Cojoaca, C. Bulac, C.-I. Popirlan. A Proposed Multi-Agent Based Platform for Monitoring and Control of Active Power Distribution Systems, In: *Proceedings of the 2021 3rd Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM)*. 2021. Pp. 214-219.
11. I. Galanis, D. Olsen, I. Anagnostopoulos. A multi-agent based system for run-time distributed resource management. In: *Proceedings of the 2017 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, 2017. Pp. 1-4.
12. H. V. V. Priyadarshana, W. K. I. Madushanaka, L. L. L. Anuruddha, G. T. Chathura, H. W. D. Hettiarachchi, K. T. M. U. Hemapala. Multi-agent controlled building management sys-



- tem. In: *Proceedings of the 2017 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT)*, 2017. Pp. 1-5.
13. I. Kotenko, I. Saenko, S. Ageev. Monitoring the State of Elements of Multi-service Communication Networks on the Basis of Fuzzy Logical Inference. In: *Proceedings of the Sixth International Conference on Communications, Computation, Networks and Technologies (INNOV-2017)*, 2017. Pp. 26-32.
14. V. Y. Tsvetkov. Intelligent control technology. *Russkiy sotsiologicheskii zhurnal*. 2015. No. 2. Pp. 97-104. (In Russian)
15. T. A. Aliev, A. M. Abbasov, Q. A. Guluyev, F. H. Pashaev, U. E. Sattarova. System of robust noise monitoring of anomalous seismic processes. *Dinamika grunta i seysmostoykost'*. 2013. No. 32. Pp. 11-25. (In Russian)
16. I. V. Kotenko, P. A. Budko, A. M. Vinogradenko, I. B. Saenko. An Approach for Intelligent Evaluation of the State of Complex Autonomous Objects Based on the Wavelet Analysis. *The 18th International conference on intelligent software methodologies, tools and techniques (SOMET'2019)*. Kuching, Sarawak, Malaysia, on September 23, 2019. Sarawak, 2019. Pp. 25-38.
17. K. I. Porsev, A. V. Sorokin. Management of Innovations and Knowledge in the Structure of the Enterprise Integrated Information Environment, In: *Proceedings of the 2020 International Conference Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&QM&IS)*, 2020. Pp. 283-285.
18. P. Simoens, M. Dragone, A. Saffiotti. The Internet of Robotic Things: A review of concept, added value and applications, *International Journal of Advanced Robotic Systems*. 2018. No. 1-2, Pp. 1-9.
19. R. Centelles, M. Selimi, F. Freitag, L. Navarro. REDEMON: Resilient Decentralized Monitoring System for Edge Infrastructures. Conference proceedings. *2020 20th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Internet Computing (CCGRID)*, Melbourne, Australia. 2020. Pp. 91-100.
20. L. Shan, J. Yu, J. Zhang, Y. Li, E. Zhou, L. Zhao. Distributed State Estimation Based on the Realtime Dispatch and Control Cloud Platform, In: *Proceedings of the 2018 2nd IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2)*, 2018. Pp. 1-6.
21. S. Chen, S. Bateni, S. Grandhi, X. Li, C. Liu, W. Yang. DENAS: automated rule generation by knowledge extraction from neural networks, In: *Proceedings of the 28th ACM Joint Meeting on European Software Engineering Conference and Symposium on the Foundations of Software Engineering*, 2020. Pp. 813-825.
22. E. G. Zelensky, Y. G. Kononov, V. V. Fedorenko, A. M. Vinogradenko, V. V. Samoylenko. Development of a distributed multi-agent system monitoring and control networks of 0.4-35 kV, In: *Proceedings of the 2017 IEEE II International Conference on Control in Technical Systems (CTS)*. Sankt-Petersburg, 2017. Pp. 271-274. (In Russian)
23. V. V. Fedorenko, A. M. Vinogradenko, V. V. Samoylenko, A. V. Pedan. An approach to intelligent monitoring of the technical condition of complex dynamic objects based on polling systems. *Proceedings of the XXII International Conference "Distributed Computer and Telecommunication Networks: Management, Computing, Communications"*, Moscow, on September 23, 2019. Moscow, 2019. Vol. 1141. Pp. 560-573.
24. E. V. Borovskaya, N. A. Davidova. The basics of artificial intelligence. Moscow: Laboratoriya znaniy, 2020. 130 p. (In Russian)
25. I. V. Kotenko, I. B. Saenko, S. A. Ageev. Implementation of Intelligent Agents for Network Traffic and Security Risk Analysis in Cyber-Physical Systems. In: *Proceedings of the 11th International Conference on Security of Information and Networks (SIN'18)*. 2018. Article 22. ACM. NY. 4 p.
26. P. A. Budko, A. M. Vinogradenko, V. V. Fedorenko, A. V. Pedan. Approach to the intellectual monitoring of the technical condition of difficult dynamic objects on the basis of the systems of a polling. *The 22nd International conference "Distributed computer and communication networks: control, computation, communications" (DCCN-2019)*. Moscow, Russia, 23-27 September 2019]. Moscow, 2019. Vol. 1141. Springer, Cham. Pp. 560-573. (In Russian)
27. P. Simoens, M. Dragone, A. Saffiotti. The Internet of Robotic Things: A review of concept, added value and applications. *International Journal of Advanced Robotic Systems*. 2018. Vol. I-II. Pp. 1-9.
28. J. S. Ramakrishna, H. Ramasangu. Classification of Cognitive State Using Clustering Based Maximum Margin Feature Selection Framework, In: *Proceedings of the 2017*
29. S. M. Egorshv, I. G. Maligin, V. I. Komashinskiy, M. Yu. Avanesov. Proposals on the strategy for the development of artificial intelligence technologies in the Russian transport industry. *Informatsiya i kosmos*. 2020. No. 2. Pp. 56-61. (In Russian)
30. I. I. Vlasov, E. V. Novikov, M. M. Ptichnikov, D. V. Sladkih. Technical diagnostics of modern digital communication networks. Basic principles and technical means of measuring transmission parameters for networks PDH, SDH, IP, Ethernet and ATM. Moscow: Goryachaya liniya-Telekom, 2015. 480 p.
31. A. I. Yashin, P. A. Budko, A. M. Vinogradenko. Intelligent control of the technical condition of the marine robotic complex *Morskaya radioelektronika*. 2020. No. 1 (71). Pp. 48-53. (In Russian)
32. P. A. Budko, A. M. Vinogradenko, A. V. Mezhenov, A. A. Chikirev. Method and device for intelligent express control of the technical condition of ground-based communications and radio engineering support of flights. *Systemi upravleniya, svyazi i bezopasnosti*. 2020. No. 1. Pp. 235-283. DOI:10.24411/2410-9916-2020-10108. (In Russian)
33. I. B. Saenko. Theoretical foundations of multidimensional-relational data representation and their application for building automated control system databases by communication. Saint-Petersburg: VUS, 2003. 176 p. (In Russian)
34. V. Y. Tsvetkov, E. K. Titov, S. V. Bulgakov, I. E. Rogov. Metamodeling in geoinformatics. *Informatsiya i kosmos*. 2020. No. 1. Pp. 112-119. (In Russian)
35. Stuart Rassel, Piter Norvig. Artificial intelligence. Modern approach. Moscow: ID "Vil'yams", 2015. 1408 p. (In Russian)



36. O. V. Abramov. Forecasting of the state and planning of operation of systems of responsible purpose. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnih sistem*. 2020. No. 3 (31). Pp. 5-14. (In Russian)
37. P. A. Budko, A. M. Vinogradenko, S. V. Kuznetsov, V. K. Goydenko. Implementation of the method of multilevel integrated control of the technical condition of the marine robotic complex *Systemi upravleniya, svyazi i bezopasnosti*. 2017. No. 4. Pp. 71-101. (In Russian)
38. V. V. Podinovskiy. Ideas and methods of the theory of the importance of criteria in multi-criteria decision-making tasks. Moscow: Nauka, 2019. 103 p. (In Russian)
39. D. A. Pospelov. Artificial intelligence. Models and methods. Guide. Moscow: Radio i svyaz', 1990. 304 p. (In Russian)
40. D. A. Pospelov. Logical-linguistic models in control systems. Moscow: Energoizdat, 1981. 232 p. (In Russian)
41. A. N. Podobriy, V. V. Timirzyanov, A. A. Pertsev. Architecture of building the knowledge base of the project organization. *Avtomatizatsiya protsessov upravleniya*. 2021. No. 4 (66). Pp. 28-38. (In Russian)
42. Say Van Kvang, M. V. Tsherbakov. The architecture of the predictive maintenance system of complex multi-object systems in the concept of Industry 4.0. *Programmi i Systemy*. 2020. No. 2 (33). Pp. 186-194. (In Russian)
43. A. M. Vinogradenko, V. K. Goydenko, A. V. Mezhenov. An algorithm for forming a database of states of a software and hardware communication complex based on thermal processes using wavelet transformations. *Materials of the IV interuniversity scientific and practical conference "Problems of technical support of troops in modern conditions"*, Sankt-Petersburg, on February 06, 2019. Sankt-Petersburg, 2019. Vol. 1. Pp. 199-204. (In Russian)
44. A. M. Vinogradenko, A. V. Mezhenov, N. P. Budko. On the issue of substantiation of the conceptual apparatus of non-destructive express control of the technical condition of the equipment of the communication system and radio engineering support of the airfield. *H&ES Reserch*. 2019. Vol. 11. No. 6. Pp. 30-44. (In Russian)
45. A. V. Sirichenko. Intelligent control and management systems. Moscow: MISIS, 2020. 24 p. (In Russian)
46. A. M. Vinogradenko. Method of synthesis of intelligent systems for monitoring the technical condition of special-purpose communication complexes. *H&ES Reserch*. 2020. No. 4. Pp. 22-31. (In Russian)
47. R. V. Abrakmkin, A. M. Vinogradenko. A method for identifying the technical condition of power supply systems and a device for its implementation. *I-Methods*. 2021. Vol. 13. No. 4. Pp. 1-20. (In Russian)
48. R. V. Abrakmkin, V. V. Bartosh, A. M. Vinogradenko, A. P. Veselovskiy. Intelligent systems for monitoring the technical condition of sources of autonomous power supply of field communication facilities. *Tehnika sredstv svyazi*. 2020. No. 1 (149). Pp. 16-27. (In Russian)
49. A. M. Vinogradenko. Intelligent assessment of technical condition of complex technical objects. *Tehnika sredstv svyazi*. 2021. No. 4 (156). Pp. 2-19. (In Russian)
50. P. A. Budko, A. M. Vinogradenko, A. I. Litvinov. Experimental studies of the kinetic method of control and diagnostics of technical means. *Mehatronika, avtomatizatsiya, upravlenie*. No. 9 (162). 2014. Pp. 53-58. (In Russian)
51. U. Leturiondo, O. Salgado, L. Ciani, D. Galar. Marcantonio Catelani Architecture for hybrid modelling and its application to diagnosis and prognosis with missing data. *Measurement*, No. 108. 2017. Pp. 152-162.

INFORMATION ABOUT AUTHOR:

Aleksey M. Vinogradenko, PhD, Docent, Military Academy of Communications St. Petersburg, Russia

For citation: Vinogradenko A.M. Architecture of an intelligent system for monitoring the technical condition of evolving special-purpose communication complexes. *H&ES Reserch*. 2022. Vol. 14. No. 1. P. 4-20. doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-1-4-20 (In Rus)



doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-1-21-27

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ С ИЗМЕНЯЕМОЙ ОРБИТАЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ

АЛТУХОВ

Александр Анатольевич¹

ЗЕЛЕНЕВСКИЙ

Юрий Владимирович²

ФИЛАТОВ

Владимир Иванович³

АННОТАЦИЯ

Введение. Статья является логическим продолжением работы авторов по исследованию вопросов эффективности включения космического сегмента, в частности системы спутниковой связи, в контур управления летательным аппаратом. Система спутниковой связи позволяет в любой момент времени обеспечить покрытие радиосигналом заданную территорию. Это может быть как локальное, так и глобальное покрытие земного шара. **Задача исследования** состоит в нахождении такой структуры и параметров орбит группировки системы связи и ретрансляции данных, как главного структурно-функционального элемента по передаче управляющих команд, которые будут обеспечивать эффективное выполнение задачи управления и донаведения в полете в любой момент времени в любых условиях обстановки. **Результаты.** Получены выражения для расчета времени радиовидимости исследуемых объектов при движении мобильных объектов, а также выведено выражение для расчета вероятности доведения информации управления до летательного аппарата в процессе его полета. Дан анализ основных характеристик, определяющих качество управления объектом. Ввиду высокой сложности, а порой и невозможности, вычислений и стохастического характера как самого процесса, так и воздействующих факторов на летательный аппарат, в статье предлагается использовать метод имитационного моделирования как инструмент расчета количественных характеристик целевой функции – вероятности доставки командно-управляющей информации, от командного пункта посредством спутниковой системы связи до средства управления для осуществления коррекции траектории. Приводится анализ и вывод операторов моделирования исхода и оценки показателя эффективности. А также дан взгляд на применение такого метода статистических испытаний как метод Монте-Карло, в имитационном моделировании. Приведены общие соотношения для этого метода, рассмотрены его положительные стороны и сущность применения в исследовании нахождения варианта стратегии применения системы спутниковой связи, а также обоснования субоптимального варианта состава, структуры и характеристик исследуемой орбитальной группировки применительно к особенностям процесса наведения средства управления.

Сведения об авторах:

¹адъюнкт, Военная академия РВСН им. Петра Великого, Московская обл. г. Балашиха, Россия, citrus73@mail.ru

²д.т.н., доцент, профессор кафедры – Военная академия РВСН им. Петра Великого, Московская обл., г. Балашиха, Россия

³к.т.н., доцент кафедры, МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва, Россия, vfil10@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: имитационное моделирование, метод Монте-Карло, целевая функция, средство управления, спутниковая система связи, пункт управления, информация управления.

Для цитирования: Алтухов А.А., Зеленевский Ю.В., Филатов В.И. Имитационное моделирование спутниковой системы связи с изменяемой орбитальной структурой // Научные исследования в космических исследованиях Земли. 2022. Т. 14. № 1. С. 21-27. doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-1-21-27



Введение

Передача информации управления (ИУ) от пункта управления (ПУпр) через орбитальную группировку (ОГ) космических аппаратов (КА) спутниковой системы связи (ССС) на радиоприемное устройство средства управления (СУ) в процессе его полета достаточно сложный и многофакторный процесс. Ввиду большого количества возмущений различной природы, влияющих как на полет самого СУ, так и на процесс доставки на борт управляющих команд, показатель, по которому будет проводиться оценка эффективности системы связи, будет иметь вероятностный характер. Он будет отражать вероятность выполнения определенных условий [1,2]. Достоверность наступления этого случайного события отражает степень уверенности в том, что СУ будет в конечном итоге доставлено к мобильному объекту.

Случайное событие, при котором одновременно выполняются необходимые условия, определим как положительный исход (состоявшаяся доставка сигнала коррекции на борт СУ в полёте) и обозначим символом A , а противоположное ему событие символом \bar{A} . События A и \bar{A} составляют полную группу событий. Известно, что частота наступления события A определяется

$$P_{oc}^*(A) = \frac{N(A)}{N}, \quad (1)$$

где $N(A)$ – число опытов, в которых событие A наступило; N – общее число опытов в эксперименте.

Вероятность доставки сообщения (P_{oc}) – показатель, определяющий меру объективной возможности появления события A при условии $N \rightarrow \infty$.

При обосновании выбора показателя эффективности доведения информации (целевой функции) от ПУпр через ССС до борта СУ в полете для доставки к объекту было получено выражение [1]:

$$P_{oc} = F(T_{цв}, T_{рв}, T_{прд}^{max}, T_{вх}, T_{пол}), \quad (2)$$

где $T_{цв}$ – временной интервал доведения целеуказаний, $T_{цв} = [t_{нач}; t_{кон}]$; $T_{рв}$ – время одновременной радиовидимости от ПУпр до КА и от КА до СУ; $T_{прд}^{max}$ – гарантированная длительность непрерывной работы на максимальной мощности передатчика бортового ретрансляционного комплекса; $T_{вх}$ – временной интервал от старта СУ до его входа в плотные слои атмосферы, где не обеспечивается радиовидимость; $T_{пол}$ – длительность полёта СУ до цели.

Анализ процесса доставки целеуказаний показал, что одновременное определение времени геометрической радиовидимости $T_{рв}$ представляет основную сложность при вычислении вероятности доставки сообщения; $T_{рв}$ зависит от многих факторов и тоже являются случайной величиной. Для его определения выбрано пространство релевантных факторов [1], что позволяет записать следующие выражения:

$$T_{рв} = F((x_i, y_i, z_i); (x_k, y_k, z_k); (x_n, y_n, z_n); A_{in}^{x,y,z}; Q; S_{oc}[Θ_{j ка}]; N_{ка}), \quad (3)$$

$$P_{oc} = F(T_{цв}; (x_i, y_i, z_i); (x_k, y_k, z_k); (x_n, y_n, z_n); A_{in}^{x,y,z}; Q; S_{oc}[Θ_{j ка}]; N_{ка}, T_{прд}^{max}, H_{плазм}, T_{ин пол}, K_{зот РК}, K_{зот РПД}, α, γ), \quad (4)$$

где (x_i, y_i, z_i) – координаты i -й пусковой установки в неинерциальной геоцентрической системе, для всех $6350000 \leq x_i, y_i, z_i \leq 6380000$ метров, $i = \overline{1, a}$;

(x_k, y_k, z_k) – координаты k -го ПУпр, для всех $6350000 \leq x_k, y_k, z_k \leq 6380000$ метров, $k = \overline{1, a}$;

(x_n, y_n, z_n) – прямоугольные координаты точки прицеливания n -го района поражения в неинерциальной геоцентрической системе, $n = \overline{1, a}$;

$A_{in}^{x,y,z} = \{A_{in}^x, A_{in}^y, A_{in}^z\}$ – множество коэффициентов многочленов 6-й степени аппроксимационных функций, описывающих изменения координат $x_{in}(t), y_{in}(t), z_{in}(t)$ траекторий полета СУ при подлете к объектам в n -м районе ($n = \overline{1, a}$), где a – количество районов, определяемое геометрическими размерами выбранной зоны контроля и геометрическими размерами районов доставки; Q – множество характеристик радиоканала «ПУпр-КА» и «КА-СУ»;

$S_{oc}[Θ_{j ка}]$ – орбитальная структура (ОС) группировки КА;

$Θ_{j ка}$ – вектор баллистических параметров орбиты j -го КА связи;

$N_{ка}$ – количество космических аппаратов в группировке;

$H_{плазм}$ – высота плазмообразования, км;

$T_{ин пол}$ – время полета СУ от момента старта из i -го пункта управления до момента прохождения критической точки начала процесса плазмообразования на высоте $H_{атм}$, $0 < T_{ин} \leq 86164$ секунды;

$K_{зот РПД}$ – коэффициент готовности радиоканала;

$K_{зот РК}$ – коэффициент готовности комплекса;

$α$ – угол места, определяемый диаграммой направленности антенны пункта управления, а также естественным и искусственным рельефом местности;

$γ$ – угол обзора антенны бортового ретранслятора КА.

В связи с высокой сложностью расчета вероятности P_{oc} и стохастическим характером факторов аналитическое решение данной функциональной зависимости без значительных допущений не представляется возможным [3,4]. В этом случае для получения статистических оценок P_{oc} предлагается использовать метод имитационного моделирования с разработкой соответствующей программы (имитационной модели (ИМ)) для ЭВМ.



Постановка задачи.

Разработать ИМ для постановки статистического эксперимента по оценке эффективности доведения ИУ от ПУпр до СУ по радиоканалу ССС и выбора субоптимальной ОС ССС на основании критерия: $P_{oc} \rightarrow \max$.

Решение задачи.

В ИМ поведение компонентов системы должно описываться набором алгоритмов, которые реализуют ситуации, возникающие в реальной системе. Моделирующие алгоритмы должны по исходным данным отображать реальные явления в ССС в сжатом масштабе времени и давать сведения о возможном поведении системы для принятия соответствующих решений [5,6].

Важным вопросом при построении ИМ является выбор способа формализации функционирования моделируемой системы, т.е. выбор форм представления протекающих в реальной моделируемой системе процессов (функциональных действий) [7,8]. В основу формализации целесообразно положить объектно-ориентированный подход [9] при котором основными составными частями модели являются так называемые объекты, которые используются для представления в модели компонент исследуемой системы. В свою очередь, каждый объект может характеризоваться рядом характеристик – параметрами или атрибутами объекта.

В ходе работы ИМ события в ней, соответствующие моментам начала и окончания отдельных процессов, работ или их фаз, должны возникать строго в той же последовательности, что и в реальной системе. В противном случае результаты моделирования будут ошибочными [10,11].

Рассмотрим наиболее сложные элементы для моделирования в выражении (4) – это $S_{oc}[\Theta_{jka}]$ – структура орбитальной группировки и $T_{in\,pv}$ – время радиовидимости в цикле управления. Структура орбитальной группировки – $S_{oc}[\Theta_{jka}]$ есть ни что иное как множество допустимых стратегий – U^{don} . При этом $\Theta_{jka} = \{t_{j0}, T_{jno}, \varepsilon_j, i_j, \omega_j, \Omega_j, T_{jpy}\}$ – вектор баллистических параметров орбиты j -го КА связи: где t_{j0} – начальное время прохождения апогея, $0 \leq t_{j0} \leq 86164$ секунды; T_{jno} – период обращения, $0 < T_{jno} \leq 86164$ секунды; $\varepsilon_{orb\,j}$ – эксцентриситет орбиты, $0 \leq \varepsilon_j < 1$; i_j – наклонение, $-90^\circ \leq i_j \leq 90^\circ$; ω_j – аргумент перигея, $0^\circ \leq \omega_j < 360^\circ$; Ω_j – долгота восходящего узла, $0^\circ \leq \Omega_j < 360^\circ$; T_{jpy} – длительность времени рабочего участка, $0 < T_{jpy} \leq 86164$ секунды.

Случайными величинами с нормальным законом распределения в модели следует принять:

t_{ja} – начальное время прохождения апогея (математическое ожидание), $3\sigma = 0,15$ секунды (СКО); T_{jno} – период обращения (математическое ожидание), $3\sigma = 0,15$ секунды (СКО); ε_j – эксцентриситет (математическое ожидание),

$3\sigma = 9 \cdot 10^{-5}$ (СКО); i_j – наклонение орбиты (математическое ожидание), $3\sigma = 0,05^\circ$ (СКО); ω_j – аргумент перигея (математическое ожидание), $3\sigma = 0,067^\circ$ (СКО); L_j – географическая проекция долготы восходящего узла (математическое ожидание), $3\sigma = 0,067^\circ$ (СКО).

Имитация данных факторов осуществляется по известным алгоритмическим процедурам [7,12] в соответствии с заданными в исходных данных их математическими ожиданиями, с нормальным законом распределения на основе базовой случайной последовательности чисел, генерируемой в ЭВМ датчиком случайных чисел.

Для обеспечения имитации на ЭВМ процесса одновременного изменения пространственных координат каждого абонента сети связи и определения признака одновременной радиовидимости в направлении «ПУпр – КА – СУ», а также для управления СУ в полёте необходимо организовать представление и управление течением времени в ИМ [13]. Для этого предлагается использовать три формы представления времени:

t_p – момент реального времени, в котором функционирует ССС ($t_p \in [0, T]$);

t_{mv} – момент модельного (системного) времени, по которому осуществляется выполнение функциональных действий, элементарных событий и их синхронизация, определяющая скачкообразное изменение фазовой траектории состояния моделируемой ССС ($t_{mv} \in T_{mv} \subset [0, T]$);

t_{um} – момент машинного времени имитации, отражающий затраты ресурса времени на проведение имитации с использованием ЭВМ ($t_{um} \in [0, T]$).

С помощью модельного времени реализуется квазипараллельная работа ИМ.

Для управления модельным временем, учитывая строгость и однозначность факторов в каждом цикле управления, как один из возможных вариантов, можно выбрать метод переменного шага по наступлению особого состояния, в котором модельное время каждый раз меняется на величину τ_i , строго соответствующую интервалу времени до i -го ($i = \overline{1, n}$) момента $t_{i\,mv}$ наступления очередного изменения фазового пространства F ($f_i \in F$) спутниковой системы связи. Данный выбор обоснован в работах Бусленко Н.П. и Максима И.В. [7,10] тем, что фазовая траектория, построенная с помощью ИМ, будет совпадать на множестве $T_{mv} \subset [0, T]$ с фазовой траекторией моделируемой ССС.

Основной характеристикой, определяющей качество управления, является длительность (в цикле управления) времени одновременной радиовидимости абонентов ССС, под которыми понимаются ПУпр и СУ [14,15]. Условие обеспечения одновременной радиовидимости указанных абонентов является необходимым, но не достаточным для решения задачи доведения ИУ.

Длительность однократного цикла управления T_{cy} перспективным СУ определяется как:



$$T_{цв1} = T_{вв} + T_{вн} = \frac{I_{вв}}{V_{вв} R_{вв}} + \frac{I_{вн}}{V_{вн} R_{вн}}, \quad (5)$$

где $T_{вв}$ – длительность доставки сообщения в направлении «ПУпр-КА», секунды; $T_{вн}$ – длительность доставки сообщения в направлении «КА-СУ», секунды; $I_{вв(вн)}$ – объем данных, необходимый к передаче для коррекции траектории полета СДП в направлении «ПУпр-КА» («КА-СУ»), бит; $V_{вв(вн)}$ – средняя скорость передачи данных в направлении «ПУпр-КА» («КА-СУ»), бит/с; $R_{вв(вн)}$ – скорость помехоустойчивого кода в направлении «ПУпр-КА» («КА-СУ»).

В свою очередь, длительность полного цикла управления перспективным СУ $T_{цв}$ состоит из n шагов модельного времени и некоторого остатка δ ($\forall T_{цв} : 0 \leq \delta < \tau_i^{\min}$):

$$T_{цв} = \sum_{i=1}^n \tau_i + \delta, \quad (6)$$

где τ_i – длительность шага модельного времени. Значение шага модельного времени выбирается и задается автоматически исходя из объема вычислений, необходимых для наступления элементарных событий $c_{i вв}$ и $c_{i вн}$ при последовательном выполнении всех алгоритмов функционирования ССС на i -м шаге модельного времени ($i = 1, n$) (рис. 1).

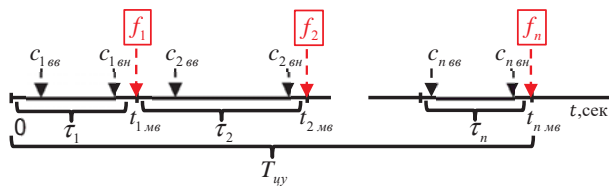


Рис. 1. Календарь наступления элементарных событий и изменения фазовых состояний на i -м шаге модельного времени в цикле управления

Элементарным событием $c_{i вв}$ ($c_{i вн}$) на интервале τ_i будем считать момент окончания вычислений значений прямоугольных координат (x, y, z) для имитирующих пространственное положение абонентов (ПУпр, КА, СУ).

Полный перебор элементарных событий на i -м шаге завершается определением значения признака одновременной радиовидимости f_i , отображающего фазовое состояние ССС и являющиеся функцией, соответствующей условиям радиовидимости в направлении «ПУпр – КА» («КА – СУ») и принимающими значения «1» или «0» при выполнении (невыполнении) условий радиовидимости соответственно, и имеющего вид зависимости:

$$f_i = F((x_k, y_k, z_k); \Theta_{j ка}; A_{in}^{x,y,z}). \quad (7)$$

Для решения задачи имеем следующий оператор моделирования исхода операции:

$$H_{T_{ps}} : A \times U^{don} \xrightarrow{P,S,R} T_{ps}^{цв}, \quad (8)$$

где A – факторное пространство, учитываемое в модели, часть которого составляет f_i ;

U^{don} – множество допустимых стратегий. Стратегиями, как было сказано выше, выступает конкретная ОС, каждой из которых соответствует количественный показатель вероятности доведения ИУ – $P_{ос}$, поэтому рассмотрение ведется отдельно от остального факторного пространства;

S – свойства моделируемой системы, а также принятые ограничения и допущения ($T_{прд}^{\max}$, $H_{плазм}$, $K_{зот РК}$, $K_{зот РПД}$, α, γ);

P – цель исследования, заключаемая в нахождении максимального значения показателя эффективности на основании выбранного критерия и соответствующей ему ОС КА;

R – имеющиеся ресурсы, в том числе и аппаратные.

С учетом (3), (4), (7) имеем:

$$H_{T_{ps}} : (x_i, y_i, z_i) \times f_i \times (x_n, y_n, z_n) \times Q \times S_{ос} \xrightarrow{P,S,R} T_{ps}^{цв}, \quad (9)$$

Для оператора оценки показателя эффективности имеем:

$$\Psi : \Theta_{j ка} \xrightarrow{P,S,R} P_{ос} \quad (10)$$

Показатель, определяющий качество управления на основе оценки длительности одновременной радиовидимости абонентов ССС в цикле управления в направлении «ПУпр-КА-СУ» для полного цикла управления, будет иметь вид:

$$T_{ps}^{цв} = \sum_{i=1}^n \tau_i f_i. \quad (11)$$

ИМ выбора субоптимальной ОС ССС должна обеспечивать реализацию следующих функций:

- ввод исходных данных на основе полученной осведомляющей (измерительной) информации о состояниях ССС;
- имитацию изменения с течением времени пространственного положения КА, ПУпр и СУ;
- имитацию воздействия случайных факторов на положение КА на орбите;

определение значений вероятностного показателя (вероятности доставки сообщений $P_{in ос}$ для i -го пункта управления, n -го района поражения и любого планируемого интервала удара);

визуализацию информационного обмена между абонентами ССС;

статистический анализ результатов моделирования для обеспечения выбора субоптимальной ОС ССС на основе выбранного при постановке задачи критерия.

Задача нахождения субоптимальной структуры ОГ относится к сравнительным задачам оценки эффективности применения систем военного назначения и заключается в выработке суждений о предпочтительности некоторого способа действий [16]. Такие суждения лежат в основе принятия решений. Сравнительная задача в нашем случае заключается в выборе лицом, принимающим решения, из множества



допустимых стратегий U^{opt} такого варианта, который обеспечивает максимальный уровень эффективности операции информационного сопровождения СУ.

Для поиска субоптимальной ОС предлагается воспользоваться методом статистических испытаний Монте-Карло.

Разработка теории метода связана с фундаментальными работами Дж. Неймана, С. Улама, Н. Метрополиса [17], Н. И. Бусленко, Дж. М. Хеммерсли [18], Дж. Спанье [19], И. М. Соболя [20], С. М. Ермакова [21], Г. А. Михайлова, Г. И. Марчука, М. Кейлоса [22], К. К. Сабельфельда и др.

Метод Монте-Карло является одним из самых мощных при решении математических задач, особенно в тех случаях, если проблему невозможно решить как аналитическими, так и приближенными методами. В настоящее время достаточно много задач, решение которых необходимы для физических, экономических, технических, производственных и других областей, и одним из направлений развития математических способов решения является применение метода Монте-Карло (вероятностного, имитационного, статистического моделирования). Все недостатки аналитических и классических приближенных методов отсутствуют в методе Монте-Карло:

- метод универсален;
- нет сложностей в выборе геометрии рассматриваемой задачи;
- является прямой математической моделью физического процесса, достаточно описать имитирующий вероятностный процесс;
- нет необходимости создания математической модели в виде интегрального или дифференциального уравнения, или их комбинаций;
- точность в оценке погрешности слабо зависит от размерности пространства и памяти ЭВМ.

Соотношение для расчета любой неизвестной величины (обозначим ее m) для метода Монте-Карло имеет вид:

$$P\left(\left|\frac{P_N}{N} - m\right| \leq k \frac{b}{\sqrt{N}}\right) = P\left(\left|\frac{1}{N} \sum_i \xi_i - m\right| \leq k \frac{b}{\sqrt{N}}\right) \rightarrow 2\Phi(k) - 1, \quad (12)$$

где m – неизвестная величина, которую требуется вычислить; ξ – случайная величина, такая, что $M\xi = m$, $D\xi = b^2$; $\Phi(x)$ – функция распределения стандартного нормального распределения.

Данная формула дает метод расчета m и оценку погрешности этого метода. Из соотношения видно, что среднее арифметическое N значений случайной величины ξ будет приближено равно m . С вероятностью близкой к $(2\Phi(k) - 1)$ ошибка такого приближения не превосходит величины $k \frac{b}{\sqrt{N}}$.

Очевидно, эта ошибка стремится к нулю с ростом N .

Сущность применения метода заключается в определении результатов на основании статистики, получаемой к моменту принятия некоторого решения. Поэтому достоверность результатов, получаемых при использовании метода Монте-

Карло, решающим образом определяется качеством генератора случайных чисел. Для получения случайных чисел на ЭВМ используются способы генерирования, которые обычно основаны на многократном повторении некоторой операции. Эти генераторы используются для получения псевдослучайных чисел, которые в дальнейшем применяются в вероятностной модели. Для современных персональных вычислительных машин генерация псевдослучайных эталонных и случайных чисел реализована в языках программирования.

Заключение

Таким образом, с помощью ИМ можно проводить серии специально организованных многофакторных экспериментов по расчету целевой функции и получать те знания, без которых не представляется возможным выбрать вариант стратегии применения ССС, а также обосновать субоптимальный вариант состава, структуры и характеристик исследуемой ССС применительно к особенностям процесса наведения СУ. Это позволит определить ОС ССС, при которой полученное значение вероятностного показателя эффективности P_{dc} будет определено как максимально возможное с учетом принятых допущений и ограничений.

Литература

1. Алтухов А.А., Зеленевский Ю.В. Выбор показателя эффективности орбитальной группировки системы спутниковой связи при доведении информации управления до средства доставки и поражения // Научно-технический сборник «Известия» №292 «Современное состояние и перспективы развития ракетного вооружения» часть IV-Балашиха: ВА РВСН, 2020. С. 2-8.
2. Алтухов А.А. Математическая задача повышения эффективности доведения управляющей информации до средств доставки и поражения в процессе полета // Научно-технический сборник «Известия» №297 «Современное состояние и перспективы развития ракетного вооружения» часть V- Балашиха: ВА РВСН, 2021. С. 16-21.
3. Задеба А.А. Основы имитационного моделирования систем передачи данных. М.: ВА РВСН им. Петра Великого, 2000. 150 с.
4. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. М.: Мир, 1978. 428 с.
5. Раздорский В.В. Компьютерное моделирование: учебное пособие. М.: ВА РВСН, 1997. 179 с.
6. Кудрявцев Е.М. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем. М.: ДМК, 2003. 264 с.
7. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1978. 351 с.
8. Архангельский В.А., Вейцель В.А., Волковский С.А. Радиосистемы и комплексы управления. М.: Вузовская книга, 2017. 574 с.
9. Тестоедов Н.А., Выгонский Ю.Г., Кузовников А.В. Отечественная система персональной подвижной спутниковой связи с космическими аппаратами на геостационарной и высокоэллиптической орбите // Научно-технические технологии. Т.16. №3. 2015. 545 с.
10. Максимей И.В. Имитационное моделирование на ЭВМ. М.: Радио и связь, 1988. 232 с.
11. Макаренко Д.М., Потюпкин А.Ю. Системный анализ космических аппаратов. М.: Министерство обороны РФ, 2007. 331 с.
12. Выгонский Ю.Г., Мухин В.А., Кузовников А.В., Сомов В.Г. Комбинированная спутниковая система связи с земными и космическими абонентами на базе геосинхронных спутников-ретрансляторов, оснащенных многолучевыми антеннами // Фундаментальные исследования. №9. 2014. 482 с.



13. Степанов А.С., Акимов А., Грищенко А., Чазов В. Особенности построения и эксплуатации орбитальных группировок систем спутниковой связи. М. Спутниковая связь и вещание, 2016. С. 72-87.

14. Ролдугин В.Д., Казарин Е.В., Тацьшин Н.Н. Исследование эффективности применения сил и средств. Балашиха: ВА РВСН им. Петра Великого, 2016. 209 с.

15. Шестихин В.И., Назаров А.Е., Зеленецкий Ю.В. К вопросу обеспечения устойчивости высокоорбитальных группировок спутниковых систем непрерывного наблюдения. Химки.: Вестник НПО им. С.А. Лавочкина, 2015. 143 с.

16. Камнев Е.Ф., Акимов А.А., Аболиц А.И. Системы спутниковой связи с эллиптическими орбитами, разнесением ветвей и адаптивной обработкой. М.: Глобсатком, 2009. 724 с.

17. Metropolis N., Ulam S. The Monte Carlo method // Journal of American Statistical Association. 1949. Vol. 44. № 249. С. 335-341.

18. Hammersley J.M., Handscomb D.C. Monte Carlo Methods. New York: John Wiley and Sons, 1964. 167 с.

19. Spanier J., Gelbard E. Monte Carlo Principles and Newton Transport Problems. Addison-Wesley, Reading, 1969. 231 с.

20. Соболев И.М. Численные методы Монте карло. М.: Наука, 1973. 243 с.

21. Ермаков С.М. Метод Монте-карло и смежные вопросы. М.: Наука, 1974. 187 с.

22. Kalos M.H., Whitlock P. A. Monte Carlo Methods. New York: John Wiley & Sons, 1986. 259 с.

SIMULATION OF A SATELLITE COMMUNICATION SYSTEM WITH A VARIABLE ORBITAL STRUCTURE

ALEXANDER ALTUKHOV

Balashikha, Russia, citrus73@mail.ru

YURI ZELENEVSKY

Balashikha, Russia

VLADIMIR FILATOV

Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, Russia, vfil10@mail.ru

KEYWORDS: *simulation modeling, Monte Carlo method, objective function, means of delivery, satellite communication system, control point, control information*

ABSTRACT

Introduction. The article is a logical continuation of the authors' work on the study of the effectiveness of the inclusion of the space segment, in particular the satellite communication system, in the control loop of the aircraft. The satellite communication system allows you to provide a radio signal coverage of a given territory at any time. This can be both local and global coverage of the globe.

Methods. However, it is necessary to find such a structure and parameters of the orbits of the grouping of the communication and data relay system as the main structural and functional element for transmitting control commands that will ensure the effective performance of the control and guidance tasks in flight at any time in any environment. In the article, expressions are obtained for calculating the radio visibility time of the studied objects during the movement of a mobile target, and an expression is derived for calculating the probability of bringing control information to the aircraft during its flight.

The analysis of the main characteristics that determine the quality of object management is given. Due to the high complexity, and sometimes impossibility, of calculations and the stochastic nature of

both the process itself and the influencing factors on the aircraft, the study suggests using the simulation method as a tool for calculating the quantitative characteristics of the objective function – the probability of delivering command and control information from the command post via a satellite communication system to the means of delivery and defeat for the implementation of correction of the incoming trajectory and following the movement of the mobile target. The analysis and conclusion of the outcome modeling operators and the evaluation of the efficiency indicator are given. And also a look at the application of such a method of statistical tests as the Monte Carlo method in simulation modeling is given. The general relations for this method are given, its positive aspects and the essence of its application in the study of finding a variant of the strategy for using a satellite communication system are considered, as well as the justification of a suboptimal variant of the composition, structure and characteristics of the orbital grouping under study in relation to the specifics of the process of targeting a delivery vehicle and hitting a mobile target.



REFERENCES

1. A. Altukhov & Y. Zelenevsky. "The choice of the efficiency indicator of the orbital grouping of the satellite communication system when bringing control information to the means of delivery and destruction". *Scientific and technical collection 'Izvestia'*. № 292 "The current state and prospects for the development of missile weapons" p. IV. Balashikha: VA RVSN, 2020, pp. 2-8.
2. A. Altukhov. "Mathematical problem of increasing the efficiency of bringing control information to the means of delivery and destruction during flight". *Scientific and technical collection "Izvestia"*. No. 297. "The current state and prospects for the development of missile weapons" Part V- Balashikha: VA RVSN, 2021, pp. 16-21.
3. A. Zadeba. Fundamentals of simulation modeling of data transmission systems. Moscow: VA RVSN im. Peter the Great, 2000. 150 p.
4. R. Shannon. Simulation modeling of systems – art and science. Moscow: Mir, 1978. 428 p.
5. V. Razdorskaya. Computer simulation: a textbook. Moscow: VA SRF, 1997. 179 p.
6. E. Kudryavtsev. GPSS World. Fundamentals of simulation modeling of various systems. Moscow: DMK, 2003. 264 p.
7. N. Buslenko. Modeling of complex systems. Moscow: Nauka, p.179 1978, p. 351.
8. V. Arkhangelsk. Radio systems and control complexes. Moscow: University Book, 2017. 574 p.
9. N. Testoedov. The domestic system of personal mobile satellite communication with spacecraft in a gestational and highly elliptical orbit. *High-tech technologies*. Vol.16. No. 3., 2015, p. 54.
10. I. Maxima. Simulation on a computer. Moscow: Radio and communications, 1988. 232 p.
11. D. Makarenko. System analysis of spacecraft. Moscow: Ministry of Defense of the Russian Federation, 2007. 331 p.
12. Y. Vygonsky. Combined satellite communication system with terrestrial and space subscribers based on geosynchronous relay satellites equipped with multipath antennas. *Fundamental research*. No. 9. 2014, p. 48.
13. A. Stepanov, "Features of the construction and operation of orbital groupings of satellite communication systems". *Satellite communications and Broadcasting*, 2016, pp. 72-87.
14. V. Roldugin. Investigation of the effectiveness of the use of forces and means. Balashikha: 2016. 209 p.
15. V. Shestikhin, "On the issue of ensuring the stability of high-orbit groupings of satellite systems of continuous observation", *Bulletin of S.A. Lavochkin NPO*, 2015, p. 143.
16. E. Kamnev, Satellite communication systems with elliptical orbits, branch separation and adaptive processing. Moscow: Globosatcom, 2009. 724 p.
17. N. Metropolis & S. Ulam, "The Monte Carlo method", *Journal of American Statistical Association*. 1949. Vol. 44. No. 249, pp 335-341.
18. J. Hammersley & D. Handscomb. Monte Carlo Methods. New York: John Wiley and Sons, 1964. 167 p.
19. J. Spanier & E. Gelbard. Monte Carlo Principles and Neutron Transport Problems. Addison-Wesley, Reading, 1969. 231 p.
20. I. Sobol. Numerical methods of Monte Carlo. Moscow: Nauka, 1973. 243 p.
21. S. Ermakov. Monte Carlo method and related issues. Moscow: Nauka, 1974. 187 p.
22. M. Kalos & P. Whitlock. Monte Carlo Methods. New York: John Wiley & Sons, 1986. 259 p.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Alexander A. Altukhov, Military Academy of the Peter the Great Strategic Missile Forces, Balashikha, Russia

Yuri V. Zelenevsky, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Military Academy of the Peter the Great Strategic Missile Forces, Balashikha, Russia

Vladimir I. Filatov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

For citation: Altukhov A.A., Zelenevsky Yu.V, Filatov V.I. Simulation of a satellite communication system with a variable orbital structure. *H&ES Research*. 2022. Vol. 14. No. 1. Pp. 21-27. doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-1-21-27 (In Rus)



ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСОВ С БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

ПШЕНИЧНЫЙ

Филипп Игоревич¹

КОРОЛЁВ

Игорь Дмитриевич²

ИВАНОВ

Станислав Валерьевич³

АННОТАЦИЯ

Введение: возрастающие возможности современных комплексов с беспилотными летательными аппаратами и их повсеместное применение, при выполнении разведывательных и разведывательно-ударных задач, привело к беспрецедентному уровню противодействия со стороны комплексов и систем противника, которое определяется понятием информационно-технического конфликта. **Цель исследования:** целью исследования является определение оценочных показателей, позволяющих в числовом выражении определить, с какой степенью эффективности решается та или иная задача, поставленная перед комплексами с беспилотными летательными аппаратами. Среди показателей эффективности комплексов с беспилотными летательными аппаратами выделяют обобщенные, частные, системные и конечные показатели. В данной работе будут рассмотрены частные показатели, характеризующие информационно-управляющую систему комплексов с беспилотными летательными аппаратами, как систему подвижной пакетной радиосвязи специального назначения в условиях информационно-технических воздействий со стороны противника. **Результаты:** предложена классификация наиболее важных тактико-технических показателей характеризующих функционирование информационно-управляющей системы комплексов с беспилотными летательными аппаратами, показаны основные и перспективные способы информационно-технических воздействий и предшествующие им виды технических разведок. Даны основные понятия, определены формульные выражения требований к информационно-управляющим системам, таких как: безопасность, оперативность (своевременность), достоверность, устойчивость, помехоустойчивость, помехозащищенность, техническая надежность, скрытность (разведзащищенность), киберустойчивость, имитостойкость, живучесть. **Практическая значимость:** применение частных показателей позволит перейти к использованию обобщенных показателей (сверток, целевых функций или функционалов качества), что в свою очередь поможет получить более общие представления об эффективности систем управления комплексов с беспилотными летательными аппаратами, в том числе при организации их группового взаимодействия.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: комплекс с беспилотными летательными аппаратами, летно-технические характеристики, информационно-управляющая система, своевременность; достоверность, безопасность, помехозащищенность.

Сведения об авторах:

¹адъюнкт Краснодарского высшего военного училища, г. Краснодар, Россия, psh-philipp@mail.ru

²д.т.н., профессор Краснодарского высшего военного училища, г. Краснодар, Россия, pi-korolev@mail.ru

³к.т.н., доцент, старший преподаватель Краснодарского высшего военного училища, г. Краснодар, Россия, sta399@yandex.ru

Для цитирования: Пшеничный Ф.И., Королёв И.Д., Иванов С.В. Оценка показателей информационно-управляющей системы комплексов с беспилотными летательными аппаратами военного назначения в условиях информационно-технических воздействий // Научные исследования в космических исследованиях Земли. 2022. Т. 14. № 1. С. 28-35. doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-1-28-35



Под комплексами с беспилотными летательными аппаратами (БЛА) будем понимать многофункциональные роботизированные технические средства, обеспечивающие решение разведывательных, ударных и смешанных задач в интересах Вооруженных Сил Российской Федерации. Эффективность применения комплексов зависит от тактико-технических характеристик непосредственно летательного аппарата, как носителя, от возможностей бортовой аппаратуры и наземной инфраструктуры.

Возможности каждого конкретного комплекса с БЛА определяются его летно-техническими характеристиками (скорость, продолжительность полета, высота, возможности целевой нагрузки и т.д.) и тактико-техническими характеристиками систем управления, обработки и доведения информации и др. Конкретный состав оборудования определяется исходя из предназначения, среды применения и условий выполнения конкретной задачи.

В работе [1] выделены четыре группы показателей эффективности авиационных комплексов с БЛА, а именно: конечные, частные, обобщенные, системные. В свою очередь частные показатели эффективности делятся на:

летно-технические показатели самих летательных аппаратов;

тактико-технические показатели управляющей системы; тактико-технические показатели информационно-управляющей системы (ИУС).

Система управления БЛА включает летательный аппарат как объекты управления и информационно-управляющую систему (ИУС), образованную информационно-вычислительной (ИВС) и управляющей системами (УС). Спецификой ИУС является то, что участие человек-оператор оказывает непосредственное влияние на процесс управления, анализируя получаемые данные, прогнозируя будущие действия и выдавая управляющие воздействия.

Эффективность функционирования ИУС можно охарактеризовать совокупностью показателей, присущих информационному обмену. Основными из них являются своевременность, достоверность и безопасность.

Рассмотрим подробнее схему тактико-технических показателей ИУС комплексов с БЛА (рис. 1), в которой ИУС условно разделим на систему информационного обмена, систему обработки и хранения информации.

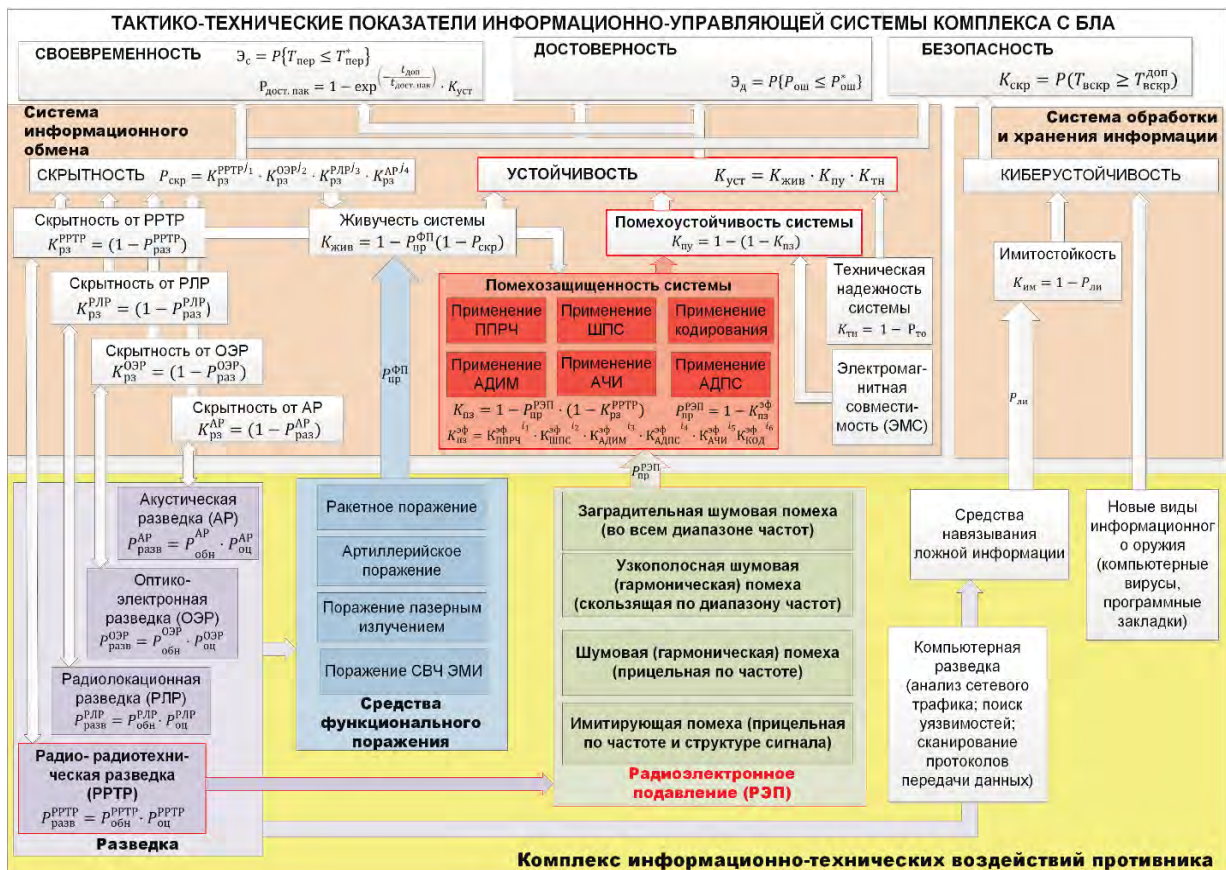


Рис. 1. Тактико-технические показатели информационно-управляющей системы комплекса с БЛА



Под **своевременностью информационного обмена** будем понимать: «способность системы информационного обмена обеспечивать прохождение информации в заданные сроки или в реальном масштабе времени (при обеспечении требуемых показателей по достоверности и скрытности)» [2, 12].

Количественным показателем своевременности является время нахождения информационных пакетов определенного вида в информационной системе ($T_{пер}$), включающее время на доставку ($T_{дост}$) и обработку ($T_{обр}$), которое определяется следующим соотношением:

$$T_{пер} = T_{дост} + T_{обр} \quad (1)$$

В особых условиях при наличии непрерывных информационно-технических воздействий со стороны систем радиоэлектронной борьбы (РЭБ) противника, реальное время нахождения сообщения в информационной системе является случайной величиной. В работе [3], в качестве показателя своевременности информационного обмена принята вероятность нахождения сообщения в информационной системе в течении времени, не превышающего допустимое:

$$K_{св} = P(T_{нс} \leq T_{нс}^{доп}) \quad (2)$$

Под **достоверностью информационного обмена** будем понимать: «способность системы обмена информацией обеспечивать воспроизведение передаваемых сообщений в пунктах приема с заданной точностью. Достоверность информационного обмена характеризует качество связи и отражает объективную оценку обстановки» [2, 11].

Система управления комплексами БЛА относится к классу человеко-машинных систем, в которой получателем информации является человек, который посредством автоматизированного рабочего места осуществляет управление, при этом передаваемая информация представляется в дискретном виде. Оценка точности воспроизведения сообщений дискретного вида соотносят с понятием потерь и выражают вероятностью ошибочного приема символа (буквы, знака) или бита (кадра, пакета).

Показателем достоверности является вероятность того, что число ошибок в сообщении ($P_{ош}$) не превысит допустимого значения ($P_{ош}^{доп}$):

$$K_{дост} = P(P_{ош} \leq P_{ош}^{доп}) \quad (3)$$

Под **безопасностью информационного обмена** будем понимать: «способность системы информационного обмена сохранять в тайне от противника содержание передаваемых сообщений и факт их передачи. Существенным свойством является способность системы обмена противостоять несанкционированному получению, уничтожению или изменению информации в ходе ее передачи и обработки» [2].

Для оценки безопасности информационного обмена используют понятие скрытности и киберустойчивости [2]. Информация, циркулирующая в системе информационного обмена комплексов с БЛА (командная, телеметрическая и специальная) обладает разной оперативной ценностью лишь определенное время, после истечения которого она становится не важной.

Под показателем скрытности информационного обмена понимается вероятность того, что время вскрытия информации ($T_{вскр}$) будет не меньше допустимого значения ($T_{вскр}^{доп}$):

$$K_{скр} = P(T_{вскр} \geq T_{вскр}^{доп}) \quad (4)$$

По отношению к комплексам с БПЛА, противник может применять следующие средства технических разведок:

средства радиолокационной разведки (РЛР) – все виды радиолокационных станций;

средства радио- и радиотехнической разведки (РРТР) – станции контроля радиоизлучений, пеленгаторные посты;

средства оптико-электронной разведки (ОЭР) – средства теле- и фотонаблюдения в видимом и инфракрасном (ИК) диапазоне;

средства акустической разведки (АР) – микрофоны и звукоулавливатели.

Представленные выше средства используются комплексно, при этом основными средствами целеуказания для комплексов противовоздушной обороны (ПВО) являются средства РЛР, а для комплексов радиоэлектронного подавления (РЭП) – средства РРТР.

Контроль и ведение РЛР воздушного пространства с помощью РЛС является традиционным способом обнаружения воздушных целей комплексами ПВО. Обнаружение средствами РЛР является эффективным в том случае, когда радиолокационная заметность цели соответствует разрешающей способности РЛС.

Средства ОЭР видимого диапазона представляют собой надёжное средство обнаружения БЛА. Эффективность оптического обнаружения БПЛА существенно зависит от факторов окружающей среды (времени суток, погодных условий). При использовании их совместно с РЛС, можно эффективно организовать сопровождение комплексов с БЛА.

С учетом этих факторов противнику необходимо осуществлять предварительную разведку объектов воздействия с целью обнаружения нужных параметров структурных элементов. С учетом реализации информационного обмена на базе сетевых технологий важными параметрами являются адресные и структурно-сетевые признаки, однако на физическом уровне рассматриваются физико-сигнальные параметры, а функциональное поражение не возможно без выявления координат объектов.

Под **скрытностью системы информационного обмена** будем понимать «свойство системы сохранять в тайне от противника факт, время и место обмена информацией, а также ее содержание и принадлежность к элементам системы» [3].

Обозначим вероятность разведки противником указанных параметров через вышеуказанные виды разведки, а именно для: РРТР - $P_{разв}^{РРТР}$, РЛР - $P_{разв}^{ОЭР}$, ОЭР - $P_{разв}^{ОЭР}$.

В работе [5] предложено проводить оценку скрытности сигналов двумя основными способами:

1. Скрытность определяется как вероятность успешного обнаружения сигнала в заданное время.
2. Скрытность определяется затратами на оценку (выявление) состояния обнаруженных сигналов с заданной достоверностью (вероятностью правильного решения).



Второй показатель более точный и раскрывает термин «скрытность», чем больше затраты, чем труднее выявить сигнал и тем выше показатель разведзащищенности. Таким образом, независимо от типа разведки, вероятность будет складываться из двух показателей – вероятности обнаружения демаксирующих признаков (сигнала) и вероятности проведения структурной оценки, значения которых определяются техническими возможностями соответствующих комплексов противника, тогда:

$$\begin{aligned} P_{\text{разв}}^{\text{PPTP}} &= P_{\text{обн}}^{\text{PPTP}} \cdot P_{\text{оц}}^{\text{PPTP}} \\ P_{\text{разв}}^{\text{OЭP}} &= P_{\text{обн}}^{\text{OЭP}} \cdot P_{\text{оц}}^{\text{OЭP}} \\ P_{\text{разв}}^{\text{PЛP}} &= P_{\text{обн}}^{\text{PЛP}} \cdot P_{\text{оц}}^{\text{PЛP}} \\ P_{\text{разв}}^{\text{AP}} &= P_{\text{обн}}^{\text{AP}} \cdot P_{\text{оц}}^{\text{AP}} \end{aligned} \quad (5)$$

В ходе информационно-технического конфликта разведывательная система противника стремится выявить рабочие параметры системы информационного обмена группы БЛА, которые, со своей стороны, стремятся затруднить осуществление разведки применением различных режимов работы (например, полет в автономном режиме с радиомолчанием и др.). При этом можно так организовать минимальный информационный обмен, что затраты систем противника на поиск будут максимальными. Для решения таких задач вводится понятие потенциальной скрытности. При выбранных параметрах информационно-управляющей системы потенциальную скрытность определяют исходя из оптимальных алгоритмов поиска противника. Далее, изменяя параметры, определяют условия, при которых потенциальная скрытность максимальна.

Скрытность от вышеуказанных видов разведки будем оценивать коэффициентами разведзащищенности: PPTP – $K_{\text{PЗ}}^{\text{OЭP}}$, PЛP – $K_{\text{PЗ}}^{\text{PЛP}}$, OЭP – $K_{\text{PЗ}}^{\text{OЭP}}$, AP – $K_{\text{PЗ}}^{\text{AP}}$, которые зависят от возможностей противника, тогда:

$$\begin{aligned} K_{\text{PЗ}}^{\text{PPTP}} &= (1 - P_{\text{разв}}^{\text{PPTP}}) \\ K_{\text{PЗ}}^{\text{OЭP}} &= (1 - P_{\text{разв}}^{\text{OЭP}}) \\ K_{\text{PЗ}}^{\text{PЛP}} &= (1 - P_{\text{разв}}^{\text{PЛP}}) \\ K_{\text{PЗ}}^{\text{AP}} &= (1 - P_{\text{разв}}^{\text{AP}}) \end{aligned} \quad (6)$$

Общий показатель скрытности системы информационного обмена ИУС комплексов с БЛА будет определяться вероятностью скрытности ($P_{\text{скр}}$) (способностью не допустить обнаружения необходимых системе разведки параметров), описываемой следующим соотношением:

$$P_{\text{скр}} = K_{\text{PЗ}}^{\text{PPTP}j_1} \cdot K_{\text{PЗ}}^{\text{OЭP}j_2} \cdot K_{\text{PЗ}}^{\text{PЛP}j_3} \cdot K_{\text{PЗ}}^{\text{AP}j_4} \quad (7)$$

где $j_1, j_2, j_3, j_4 =$
 {0, при отсутствии того или иного вида разведки
 {1, в случае применения того или иного вида разведки

Только учет реальных условий функционирования и сочетание организационных и технических мер позволит обеспечивать скрытую работу линий информационного обмена и, как следствие, повысить значения коэффициентов.

Возможности обнаружения средствами разведки противника БЛА как физических объектов, так и фактов информационного обмена, подробно рассмотрено в работе [6].

Комплексы с БЛА могут быть обнаружены средствами PPTP средствами PЭП противника путем приема и анализа как радиосигналов командной радиолинии управления (КРУ), так и бортового радиоэлектронного оборудования – радиолокационных высотометров, РЛС, излучателей помех и т.д. Основными параметрами радиоразведки (PP) комплексов с БЛА являются параметры КРУ БЛА, а также передаваемая по каналам связи информация, а объектом радиотехнической разведки (PТP) – излучение бортовых РЛС, бортового PЭО, PЭС полезной нагрузки.

Факт обнаружения PЛP и/или OЭP (в том числе после обнаружения фактов информационного обмена средствами PPTP) дает возможность системам вооружения противника нанести функциональное поражение, спектр которого будет варьироваться исходя из численности группы, конкретных размеров входящих в группу летательных аппаратов, их высоты и скорости, возможности применять маневры и т.д., показателем будет являться вероятность применения средств функционального поражения

Непосредственно с показателем скрытности (разведзащищенности) системы информационного обмена, связано понятие живучести.

Под живучестью системы информационного обмена будем понимать «способность системы обеспечивать управление структурными элементами группы в условиях воздействия всех средств поражения, применяемых противником, или других физических воздействий» [2, 14].

В общем виде, без учета актуальности и целесообразности применения, того или иного средства поражения, коэффициент живучести ($K_{\text{жив}}$), зависит от вероятности применения средств функционального поражения ($P_{\text{пр}}^{\text{ФП}}$) и вероятности скрытности объектов от поражения ($P_{\text{скр}}$):

$$K_{\text{жив}} = 1 - P_{\text{пр}}^{\text{ФП}}(1 - P_{\text{скр}}) \quad (8)$$

Факт обнаружения информационного обмена как между элементами в группе, так и в ходе обмена с НПУ, дает системам PЭП противника возможность применения радиоэлектронного подавления, способом постановки различного вида помех.

Наличие помех всегда уменьшает вероятность правильного приема любых сообщений. При передаче дискретных сообщений помехи вызывают ошибки, а при передаче непрерывных сообщений они понижают точность воспроизведения сообщения.

Для подавления КРУ, каналов передачи телеметрии (данных полезной нагрузки) и каналов приема сигналов спутниковой навигации БЛА используются следующие типы помех [7, 15]:



1. Помехи, перекрывающие рабочий диапазон частот, предположительно используемый для организации связи с БЛА (когда нет возможности вскрыть параметры КРУ отдельных БЛА и требуется перекрыть весь используемый диапазон частот):

- заградительная шумовая помеха (белый шум высокой мощности) во всем диапазоне частот;
- узкополосная шумовая или гармоническая (одночастотное или модулированное гармоническое колебание) помеха, скользящая по диапазону частот.

2. Помехи, прицельные по частоте линий управления и связи БЛА (когда средствами РРТР достоверно вскрыты частотные параметры линий связи):

- шумовая помеха, прицельная по частоте линии связи;
- гармоническая помеха, прицельная по частоте линии связи;

- узкополосная шумовая или гармоническая помеха, скользящая по используемому диапазону частот (при использовании линий связи с ШПС или ППРЧ);

- имитирующая помеха, прицельная по частоте линии связи и структуре передаваемых сигналов (имитирует структуру сигналов линии связи);

- имитирующая помеха, прицельная по частоте и структуре сигнала, а также по структуре и формату передаваемых данных (имитирует ложные данные, передаваемые по линии связи) с целью навязывания ложных режимов работы.

Способность системы информационного обмена противостоять воздействию различного вида помех, определяется понятием помехозащищенности.

Под **помехозащищенностью системы информационного обмена** будем понимать «способность технических средств системы обеспечивать обмен с требуемым качеством в условиях воздействия как естественных, так и искусственных радиоэлектронных помех, а также обладать свойством, характеризующим способность обеспечивать обмен информацией в условиях воздействия всех видов помех» [2, 13]

Вероятность применения средств РЭП, зависит от эффективности применяемых методов помехозащиты, по предложенной в работе [8] классификации, такие методы должны учитывать вид модуляции и кодирования, ширину спектров сигналов и помех. Исходя из этого вероятность применения средств РЭП ($P_{\text{пр}}^{\text{РЭП}}$) является величиной, обратной эффективности применяемых методов помехозащиты ($K_{\text{пз}}^{\text{эф}}$), влияющей на степень подавления:

$$P_{\text{пр}}^{\text{РЭП}} = 1 - K_{\text{пз}}^{\text{эф}} \quad (9)$$

С учетом предложений по формированию основных требований к беспроводным каналам связи роботизированных комплексов военного назначения [9] коэффициент эффективности применяемых методов помехозащиты будет определяться

$$K_{\text{пз}}^{\text{эф}} = K_{\text{ППРЧ}}^{\text{эф} \ i_1} \cdot K_{\text{ШПС}}^{\text{эф} \ i_2} \cdot K_{\text{АДИМ}}^{\text{эф} \ i_3} \cdot K_{\text{АДПС}}^{\text{эф} \ i_4} \cdot K_{\text{АЧИ}}^{\text{эф} \ i_5} \cdot K_{\text{КОД}}^{\text{эф} \ i_6} \quad (10)$$

где

$K_{\text{ППРЧ}}^{\text{эф}}$ – коэффициент эффективности применения систем с псевдослучайной перестройкой

частоты, зависящая от вида (медленная или быстрая) и скорости перестройки (скачков)

$K_{\text{ШПС}}^{\text{эф}}$ – коэффициент эффективности применения шумоподобных сигналов, зависящий от отношения ширины полосы помехи к полезному сигналу

$K_{\text{АДИМ}}^{\text{эф}}$ – коэффициент эффективности применения систем с адаптацией по излучаемой мощности

$K_{\text{АДПС}}^{\text{эф}}$ – коэффициент эффективности применения систем с адаптацией по пропускной способности

$K_{\text{АЧИ}}^{\text{эф}}$ – коэффициент эффективности применения систем с адаптацией частоты излучения

$K_{\text{КОД}}^{\text{эф}}$ – коэффициент эффективности применения кодирования информации

$$i_1, i_2, i_3, i_4, i_5, i_6 = \begin{cases} 0, & \text{при отсутствии той или иной системы} \\ 1, & \text{в случае применения той или иной системы} \end{cases}$$

В общем виде, без учета применения того или иного вида помех, способов повышения коэффициентов эффективности помехозащиты, коэффициент помехозащищенности $K_{\text{пз}}$, зависящий от вероятности применения средств РЭП ($P_{\text{пр}}^{\text{РЭП}}$) и вероятности скрытности объектов от разведки РРТР ($K_{\text{рз}}^{\text{РРТР}}$), описывается следующим соотношением:

$$K_{\text{пз}} = 1 - P_{\text{пр}}^{\text{РЭП}} \cdot (1 - K_{\text{рз}}^{\text{РРТР}}) \quad (11)$$

Коэффициент помехозащищенности имеет непосредственное влияние на показатель помехоустойчивости системы обмена информацией.

Под **помехоустойчивостью системы обмена информацией** будем понимать «способность системы выполнять свои функции с требуемым качеством в условиях воздействия помех» [2]

В работе [9] перечислены основные показатели (критерии), по которым можно количественно оценить помехоустойчивость, а именно:

- вероятностью успешного выделения полезной нагрузки в условиях РЭП;

- средней вероятностью ошибки при селекции сигналов;

- вероятностью правильного обнаружения при заданной вероятности ложной тревоги;

- средним квадратом ошибки при оценивании параметров сигнала;

- отношением средней мощности сигнала к средней мощности (дисперсии) помехи (критерием максимума отношения сигнал/помеха);

- вероятностью скрытности и вероятностью помехозащищенности.

Без учета показателей электромагнитной совместимости, коэффициент помехоустойчивости через показатели вероятностей скрытности и помехозащищенности, можно вычислить по формуле:

$$K_{\text{пу}} = 1 - (1 - K_{\text{пз}}) \quad (12)$$



Показатели живучести, помехоустойчивости и технической готовности, вместе определяют устойчивость системы обмена информацией:

$$K_{уст} = K_{жив} \cdot K_{пу} \cdot K_{тн} \quad (13)$$

Под **устойчивостью системы обмена информацией** будет пониматься «способность системы обеспечивать управление в условиях воздействия на её элементы различных видов оружия противника, опасных факторов техногенного и природного характера и помех всех видов» [2, 10].

В соответствии с тем, что в настоящее время системы информационного обмена комплексов с БЛА создаются с применением средств и комплексов связи, обеспечивающих пакетную передачу сообщений, в качестве показателя своевременной передачи сообщений целесообразно использовать время ($t_{дост. пак}$) и вероятность ($P_{дост. пак}$) своевременной доставки пакета. Показатель своевременности определяется следующим соотношением:

$$P_{дост. пак} = 1 - \exp\left(-\frac{t_{доп}}{t_{дост. пак}}\right) \cdot K_{уст} \quad (14)$$

Заключение

Возвращаясь к оценке эффективности функционирования информационно-управляющей системы комплексов с БЛА через показатели своевременности, достоверности и безопасности, можно отметить, что для систем информационного обмена, выраженные показатели устойчивости и скрытности играют ключевую роль. Большое количество работ с описанием способов и методов повышения живучести, помехозащищенности, помехоустойчивости и скрытности (разведзащищенности) говорят об актуальности проблемы, которая будет оставаться таковой, ввиду невозможности обеспечить гарантированную беспроводную связь с учетом возрастающих возможностей средств разведки и применением комплексов функционального поражения и радиоэлектронного подавления противником.

Литература

1. *Верба В.С., Татарский Б.Г.* Комплексы с беспилотными летательными аппаратами. В 2-х кн.: Кн. 2. Робототехнические комплексы на основе БЛА. М.: Радиотехника. 2016. 824 с. (Научная серия «Труды научных школ АО «Концерн радиостроения «Вега» по ред. В.С. Вербы).
2. ГОСТ РВ 0158-006-2018. Термины и определения : государственный военный стандарт Российской Федерации : издание официальное : принят и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 сентября 2018 г. № 35-ст: дата введения 2019-03-01. М.: Стандартинформ, 2018. 23 с.
3. *Боговик А.В., Игнатов В.В.* Эффективность систем военной связи и методы ее оценки. СПб.: ВАС, 2006. 183 с.
4. *Карташов В.М., Олейников В.Н., Шейко С.А., Бабкин С.И., Коротцев И.В., Зубков О.В.* Особенности обнаружения и распознавания малых беспилотных летательных аппаратов // Радиотехника. 2018. № 195. С. 235-243. URL: http://openarchive.nure.ua/bitstream/document/9513/1/Kartashov_235_243.pdf (дата обращения 11.12.2019).

5. *Ганишин Д.Г., Дудка А.А., Битченко А.Н., Цопа А.И.* Анализ структурной скрытности многочастотных сигналов широкополосных систем связи // Радиотехника. 2016. № 184. С. 127-134.
6. *Макаренко С.И.* Информационное противоборство и радиоэлектронная борьба в сетцентрических войнах начала XXI века. Монография. СПб.: Научно-технологические технологии, 2017. 546 с.
7. *Макаренко С.И.* Противодействие беспилотным летательным аппаратам. Монография. СПб.: Научно-технологические технологии, 2020. 204 с.
8. *Векишин Ю.Е., Мирошниченок Е.А., Савченко К.Н.* Методика оценки помехоустойчивости и алгоритма работы радиорелейных станций в условиях воздействия различного рода радиопомех // I-METHODS. 2019. № 3 (том 11). С. 1-12. URL: <http://intech-spb.com/i-methods> (дата обращения 12.03.2021).
9. *Антохин Е.А., Панасенко Н.Н., Чернова А.Д.* Основные требования к беспроводным каналам связи наземных робототехнических комплексов военного назначения // Робототехника и техническая кибернетика. 2017. № 4 (17). С. 10-14.
10. ГОСТ Р 53111-2008. Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. Требования и методики проверки : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 декабря 2008 г. № 529-ст : дата введения 2009-09-01. М.: Стандартинформ, 2008. 15 с.
11. *Калмыков Д.А., Кривцов С.П., Тевс О.П.* Расчет своевременности доставки сообщений в системе связи специального назначения в условиях воздействия противника // Труды учебных заведений связи. 2016. № 4. С. 67-73.
12. *Коцыняк М.А., Кулишов И.А., Кудрявцев А.М., Лаута О.С.* Киберустойчивость информационно-телекоммуникационной сети. Монография. СПб.: Бостон-спектр, 2015. 150 с.
13. *Горбенко И.Д., Замула А.А., Морозов В.Л.* Информационная безопасность и помехозащищенность телекоммуникационных систем в условиях различных внутренних и внешних воздействий // Радиотехника. 2017. № 189. С. 5-14.
14. *Ксенюфонтов Д.А.* Особенности систем военной связи // Радиотехника и связь. 2018. № 3. С. 20-23.
15. *Леньшин А.В., Тихомиров Н.В., Попов С.А.* Бортовые радиоэлектронные системы. Основы построения. Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2021. 486 с.
16. *Иванов С.В., Пищеничный Ф.И.* Анализ применения интеллекта живых организмов для исследования алгоритмов функционирования роя беспилотных летательных аппаратов // Актуальные исследования. 2020. № 21 (24). С. 28-23.
17. *Петрова О.В., Иванов С.В., Королёв И.Д., Белоножко Д.Г.* Математическая модель оценки вероятности безотказной работы системы обработки информации мультиагентного робототехнического комплекса в условиях неопределенности Вестник Воронежского государственного технического университета. 2019. Т. 15. № 3. С. 7-15.
18. *Иванов С.В., Хорольский Е.М.* Обработка информационных потоков в мультиагентных робототехнических комплексах в условиях решения разноплановых задач // Вестник Воронежского института МВД России. 2020. № 2. С. 116-124.
19. *Иванов С.В., Нечепуренко А.П., Беседин С.А.* Организация защиты информации в системах управления интеллектуальными робототехническими комплексами двойного назначения // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2020. № 5-6 (143-144). С. 52-57.
20. *Иванов С.В., Белоножко Д.Г., Хорольский Е.М., Калач А.В.* Оценка надежности канала управления в многомашинной системе передачи информации мультиагентного робототехнического комплекса // Вестник Воронежского института ФСИН России. 2020. № 2. С. 81-88.



EVALUATION OF THE INDICATORS OF THE INFORMATION MANAGEMENT SYSTEM OF COMPLEXES WITH UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR MILITARY PURPOSES IN THE CONDITIONS OF INFORMATION AND TECHNICAL IMPACTS

PHILIPP PSHENICHNYJ

Krasnodar, Russia, psh-philipp@mail.ru

IGOR KOROLEV

Krasnodar, Russia, pi_korolev@mail.ru

STANISLAV IVANOV

Krasnodar, Russia, sta399@yandex.ru

KEYWORDS: *complex with unmanned aerial vehicles, flight technical characteristics, information management system, timeliness, reliability, security, noise immunity of information exchange.*

ABSTRACT

Introduction: the increasing capabilities of modern complexes with unmanned aerial vehicles and their widespread use, when performing reconnaissance and reconnaissance-strike tasks, has led to an unprecedented level of counteraction from enemy complexes and systems, which is defined by the concept of information technology conflict. **Purpose:** the purpose of the study is to determine the estimated indicators that make it possible to determine in numerical terms with what degree of efficiency a particular task assigned to complexes with unmanned aerial vehicles is being solved. Among the performance indicators of complexes with unmanned aerial vehicles, generalized, private, system and final indicators are distinguished. In this paper, we will consider particular indicators characterizing the information and control system of complexes with unmanned aerial vehicles as a mobile packet radio communication system for special purposes in the conditions of information and technical influences

from the enemy. **Results:** the classification of the most important tactical and technical indicators characterizing the functioning of the information management system of complexes with unmanned aerial vehicles is proposed, the main and promising methods of information and technical impacts and the types of technical intelligence preceding them are shown. The basic concepts are given, the formulaic expressions of the requirements for information and control systems are defined, such as: security, efficiency (timeliness), reliability, stability, noise immunity, noise immunity, technical reliability, secrecy (intelligence protection), cyber resistance, imitability, survivability. **Practical relevance:** the use of private indicators will allow us to switch to the use of generalized indicators (convolutions, objective functions or quality functionals), which in turn will help to get more general ideas about the effectiveness of control systems of complexes with unmanned aerial vehicles, including when organizing their group interaction.

REFERENCES

1. V.S. Verba and B.G. Tatarsky (ed.) (2016), Complexes with unmanned aerial vehicles, Radiotekhnika, Moscow, Russia.
2. State military standard of the Russian Federation (2019), GOST-RV 0158-006-2018. The connection is military. Terms and definitions: Federal Agency for Technical Regulation and Metrology. Standart., State military standard of the Russian Federation, Moscow, Russia.
3. A.V. Bogovic and V.V. Ignatov (2006), Effectiveness of military communication systems and methods of its evaluation, VAS, Saint-Petersburg, Russia.
4. V.M. Kartashev, V.N. Oleynikov, S.A. Sheyko, S.I. Babkin, I.V. Koriytcv and O.V. Zubkov (2018), "Features of detection and recognition of small unmanned aerial vehicles", *Radiotekhnika*, no.195, pp. 235-243, available at: http://openarchive.nure.ua/bitstream/document/9513/1/Kartashov_235_243.pdf (Accessed 11 December 2019).
5. D.G. Ganshin, A.A. Dudka, A.N. Bitchenko and A.I. Copa (2016), "Analysis of the structural secrecy of multi-frequency signals of broadband communication systems", *Radiotekhnika*, no.184, pp. 127-134.
6. S.I. Makarenko (2017), Information warfare and electronic warfare in the network-centric wars of the beginning of the XXI century., *Naukoemkie Tekhnologii*, Saint-Petersburg, Russia.
7. S.I. Makarenko (2020), Countering unmanned aerial vehicles., *Naukoemkie Tekhnologii*, Saint-Petersburg, Russia.
8. Yu.E. Vekshin, E.A. Miroshnichenko and K.N. Savchenko (2019), "Methodology for assessing the noise immunity and algorithm of operation of radio relay stations under the influence of various kinds of radio interference", *I-Methods*, vol. 11, no. 3, pp. 1-12, available at: <http://intech-spb.com/i-methods> (Accessed 12 March 2021).
9. E.A. Antohin, N.N. Panasenکو and A.D. Chernova (2017), "Basic requirements for wireless communication channels of ground-based robotic complexes for military purposes", *Robototekhnika i tekhnicheskaya kibernetika*, vol. 17, no. 4, pp.10-14.
10. National standard of the Russian Federation (2009), GOST R 53111-2008. Stability of the functioning of the public communication network. Requirements and methods of verification: Federal Agency for Technical Regulation and Metrology. Standart, National standard of the Russian Federation, Moscow, Russia.
11. D.A. Kalmykov, S.P. Krivcov and O.P. Tevs (2016), "Calculation of the timeliness of message delivery in a special-purpose communication system under enemy influence", *Trudy uchebnykh zavedenii svyazi*, no. 4, pp. 67-73.
12. M.A. Kotsyniak, A.M. Kuleshov, Kudryavcev A.M. and Lauta, O.S. (2015), Cyber-stability of the information and telecommunication network, Boston-spectr, Saint-Petersburg, Russia.
13. I.D. Gorbenko, A.A. Zamula and V.L. Morozov (2017), "Information security and noise immunity of telecommunication systems under various internal and external influences", *Radiotekhnika*, no.189, pp. 5-14.



14. D.A. Ksenofontov (2018), "Features of military communication systems", *Radiotekhnika i svyaz*, no. 3, pp. 20-23.

15. A.V. Lenshin, N.V. Tihomirov and S.A. Popov, Onboard radio-electronic systems. Fundamentals of construction. Voronezh: Publishing and Printing Center "Scientific Book", 2021. 486 p. (In Rus)

16. S.V. Ivanov, F.I. Pshenichnyy (2020), "Analysis of the Application of Living Organisms Intelligence to Investigate Unmanned Aerial Vehicle Swarm Functioning Algorithms", *Aktual'nye issledovaniy*, no 21 (24), pp. 28-23.

17. O.V. Petrov, S.V. Ivanov, I.D. Korolev and D.G. Belohogko (2019), "A mathematical model for estimating the probability of trouble-free operation of an information processing system of a multi-agent robotic complex under conditions of uncertainty", *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, vol. 15, no. 3, pp. 7-15.

18. S.V. Ivanov and E.M. Khorolskii (2020), "Processing of information flows in multi-agent robotic complexes in conditions of solving diverse tasks", *Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii*, no. 2, pp. 116-124.

19. S.V. Ivanov, A.P. Nechepurenko and S.A. Besedin (2020), "Organization of information protection in control systems of intelligent robotic complexes of dual purpose", *Tekhnicheskie sredstva protivodeistviia terrorizmu*, vol. 5-6 (143-144), pp. 52-57.

20. S.V. Ivanov, D.G. Belonogko, E.M. Khorolskii and A.V. Kalach (2020), "Evaluation of the reliability of the control channel in a multi-machine information transmission system of a multi-agent robotic complex", *Vestnik Voronezhskogo instituta FSIN Rossii*, no. 2, pp. 81-88.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Philipp Pshenichnyj, Postgraduate student of the Krasnodar Higher Military School, Krasnodar, Russia

Igor Korolev, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Krasnodar Higher Military School, Krasnodar, Russia

Stanislav Ivanov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, senior lecturer of the Krasnodar Higher Military School, Krasnodar, Russia

For citation: Pshenichnyj F.I., Korolev I.D., Ivanov S.V. Evaluation of the indicators of the information management system of complexes with unmanned aerial vehicles for military purposes in the conditions of information and technical impacts. *H&ES Reserch*. 2022. Vol. 14. No. 1. P. 28-35. doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-1-28-35 (In Rus)

12+

26–29
апреля
2022

Россия, Москва,
ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

www.hi-techweek.ru

СВЯЗЬ
34-я международная
выставка
информационных
и коммуникационных
технологий
www.svyaz-expo.ru

НАВИТЕХ
Экспозиция
«Навигационные
системы,
технологии и услуги»
www.navitech-expo.ru

• Форум
«СВЯЗЬ-2022»

• Форум «Российский софт:
эффективные решения»



doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-1-36-44

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАТЕНТНО-СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРИ ПОДГОТОВКЕ ДАННЫХ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ АНОНИМНЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ПО ЦИФРОВЫМ ОТПЕЧАТКАМ

ШЕЛУХИН
Олег Иванович¹

ВАНЮШИНА
Анна Вячеславовна²

ЖЕЛНОВ
Максим Сергеевич³

АННОТАЦИЯ

Введение. Серьезной проблемой методики отслеживания и идентификации пользователей при помощи браузера (Фингерпринтинг (ФП) веб-браузера) является то, что цифровые отпечатки в следствие обновлений системы, плагинов, браузеров, установки различных программ, а с ними и шрифтов со временем изменяются. Набор анализируемых атрибутов может содержать как числовые, так и категориальные (в основном не числовые) значения, например такие параметры, как user-agent, WebGL, canvas и т.д. поэтому требуется предварительно произвести их кодирование для удобства дальнейшей обработки. Для этих целей все большее применение находят технологии искусственного интеллекта включающие в себя обработку текста на естественных языках NLP (Natural Language Processing). **Целью исследования** является анализ особенностей реализации латентно-семантического анализа (англ. Latent semantic analysis, LSA) при подготовке и анализе данных ФП для идентификации анонимных пользователей. **Методы.** Проведен сравнительный анализ распространенных способов преобразования категориальных значений атрибутов фингерпринтов (ФП) в числовые One-Hot-Encoding, Label-Encoder, LSA для идентификации анонимных пользователей с заранее известным количеством возможных значений категориальных признаков. **Результаты.** Показано преимущество LSA над One-Hot-Encoding, Label-Encoder. Показана возможность реализации кластеризации в рамках задачи идентификации пользователей путем визуализации ФП (ФП) относительно скрытых семантических тем с помощью модели латентного семантического анализа LSA. Показано, что при малом количестве скрытых тем с помощью полученных векторов объектов и векторов терминов для оценки схожести двух ФП предложенная модель позволяет уверенно отнести входной ФП к общей теме. С помощью полученных векторов объектов и векторов терминов для оценки схожести двух объектов ФП появляется возможность применять различные меры близости кластеров: евклидово расстояние, косинусная мера и т.д.

Сведения об авторах:

¹д.т.н., профессор, заведующий кафедрой "Информационная безопасность", Московский Технический Университет Связи и Информатики (МТУСИ), Москва, Россия, sheluhin@mail.ru

²к.т.н., доцент кафедры "Информационная безопасность", Московский Технический Университет Связи и Информатики (МТУСИ), Москва, Россия, a.v.vaniushina@mtuci.ru

³студент магистратуры, Московский Технический Университет Связи и Информатики (МТУСИ), Москва, Россия, max306211@yandex.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: фингерпринт, база данных, набор данных, текстовые данные, категориальные данные, признаки, технологии искусственного интеллекта.

Для цитирования: Шелухин О.И., Ванюшина А.В., Желнов М.С. Использование латентно-семантического анализа при подготовке данных для идентификации анонимных пользователей по цифровым отпечаткам // Научные исследования в космических исследованиях Земли. 2022. Т. 14. № 1. С. 36-44. doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-1-36-44



Введение

В сфере информационных технологий отпечатком (ФП) (fingerprint) принято называть возможность однозначно идентифицировать анонимного пользователя через его устройство, настройки, программное обеспечение и другие пользовательские характеристики [1, 3, 4, 5].

На основе нескольких типов данных: языковые настройки, установленные шрифты системы, часовой пояс, разрешение экрана, установленные плагины, цифровые версии программ и т. д. – создается цельная картина браузера, которая по своему принципу напоминает отпечаток пальца.

Учитывая, что набор анализируемых данных ФП может содержать текстовые или категориальные значения (в основном нечисловые значения), например такие параметры, как user-agent, WebGL, canvas и т.д., требуется предварительно произвести их кодирование для удобства дальнейшей обра-

ботки. Для этих целей все большее применение находят технологии искусственного интеллекта, включающие в себя обработку текста на естественных языках NLP (Natural Language Processing) [10, 11].

Целью исследования является анализ особенностей реализации латентно-семантического анализа (англ. Latent semantic analysis, LSA) при подготовке и анализе данных ФП для идентификации анонимных пользователей

Формирование базы данных

Для выполнения задачи сбора информации (ФП устройств) предлагается использовать выделенный сервер с развернутым сайтом-одностраничником и внедренным в него скриптом сбора информации, а также базу данных MySQL, где будет храниться собираемая информация ФП устройств для последующего анализа (табл. 1).

Таблица 1

Исходный набор данных отпечатков

№	Признак	Описание	№	Признак	Описание
1	user-agent	Характеристика клиентского приложения	37	document_dump_functions	Список собственных функций и типов реализуемых глобально доступными объектами
2	language	Системный язык	38	document_dump_types	
3	color_depth	Глубина цвета	39	style_dump	
4	device memory	Объем ОЗУ	40	error messages	Список ошибок браузера
5	hardware concurrency	Многозадачность	41	silverlight_installed	Наличие SilverLight
6	resolution	Текущее разрешение экрана	42	silverlight_supported	Поддержка SilverLight
7	available_resolution	Доступное разрешение экрана	43	silverlight_versions	Версия SilverLight
8	timezone_offset	Сдвиг часового пояса	44	ActiveBorder	Фактическое значение RGB цветов CSS элементов, отображаемых экраном пользователя
9	session_storage	Наличие API HTML5 (хранение ключей/значений в браузере)	45	GrayText	
10	local_storage	Браузерное хранилище	46	ActiveCaption	
11	indexed_db	Наличие API HTML5 (постоянное хранение данных внутри браузера)	47	AppWorkspace	
12	open_database	Поддержка OpenDB	48	Background	
13	cpu_class	Разрядность ЦПУ	49	ButtonFace	
14	navigator_platform	Платформа устройства	50	ButtonHighlight	
15	regular_plugins	Список плагинов браузера	51	ButtonShadow	
16	canvas	Результат canvas изображения на странице	52	ButtonText	
17	WebGL	Результат рендеринга 3D-графики	53	CaptionText	
18	WebGL vendor	Производитель/модель GPU	54	ThreeDShadow	
19	adblock	Наличие блокировщика рекламы	55	Highlight	
20	has_lie_languages	Факт ложного языка	56	HighlightText	
21	has_lie_resolution	Факт ложного разрешения экрана	57	InactiveBorder	
22	has_lie_os	Факт ложной ОС	58	InactiveCaption	
23	has_lie_browser	Факт ложного браузера	59	InactiveCaptionText	
24	touch_support	Поддержка тач-пада	60	InfoBackground	
25	js_fonts	Список установленных шрифтов JS	61	InfoText	
26	audio_fp	Результат обработки аудио	62	Menu	
27	activex_objects	Наличие ActiveXObject	63	MenuText	
28	ms_components	Наличие компонентов MS	64	Scrollbar	
29	navigator_dump_functions	Список собственных функций и типов реализуемых глобально доступными объектами	65	ThreeDDarkShadow	
30	navigator_dump_types		66	ThreeDFace	
31	toolbar_dump_functions		67	ThreeDHighlight	
32	toolbar_dump_types		68	ThreeDLightShadow	
33	crypto_dump_functions		69	Window	
34	crypto_dump_types		70	WindowFrame	
35	window_dump_functions		71	WindowText	
36	window_dump_types				



За основу скрипта для сбора информации была взята модификация открытой программной библиотеки `fingerprints2`. `Fingerprints2` представляет собой открытую программную библиотеку JavaScript, которая может использоваться для извлечения уникальных характеристик браузера и технического устройства [6,7,8,9]. Разработанный скрипт позволил зафиксировать 37 параметров, некоторые из которых разделяются на подпараметры, что в общей сумме позволяет занести 71 параметр в базу данных, приведенные в таблице 1.

Разработанный скрипт позволяет извлекать 71 параметр браузера и технического устройства. Наличие и фиксация в базе данных всех подпараметров делают отпечаток устройства более уникальным. Для последующего детального анализа собранных данных требуется зафиксировать максимально возможное количество доступных к сбору параметров.

Универсальным решением для формирования базы данных (БД) является сочетание MySQL и языка программирования PHP. Таким образом, было собрано 6233 записей об устройствах.

Экспортируем полученные данные из БД в формат JSON (рис.1) выбранный из соображений универсальности по отношению к обработчикам информации.

```
1 [{"date": "2021-01-22 00:15:27", "user_ip": "97.151.148.53", "FP_hash": "0e00cf43ab71fba62e0c9ffbc06de2b",
2 "date": "2021-01-22 00:15:29", "user_ip": "77.51.70.75", "FP_hash": "0e00cf43ab71fba62e0c9ffbc06de2b",
3 "date": "2021-01-22 00:15:34", "user_ip": "97.151.148.53", "FP_hash": "ad965272ef99ac0950f5d647c1fdb7d",
4 "date": "2021-01-22 00:15:36", "user_ip": "5.44.168.176", "FP_hash": "fd9942d79f79e362b30ca3862364ec12",
5 "date": "2021-01-22 00:15:39", "user_ip": "77.51.70.75", "FP_hash": "d10362d5a5c0b155930e629c683afeb",
6 "date": "2021-01-22 00:15:43", "user_ip": "5.44.168.176", "FP_hash": "d204b5d46efca9a6a29920013d9412cf",
7 "date": "2021-01-22 00:15:44", "user_ip": "85.249.45.76", "FP_hash": "f6f28c0bd8a07bd2c4a0235de3bec289",
8 "date": "2021-01-22 00:15:45", "user_ip": "188.163.20.37", "FP_hash": "10aebb5601c557aee2ba3fa16200fcaad"}]
```

Рис. 1. Фрагмент экспортируемой БД формата JSON

Подготовка данных для обучения модели

Наиболее распространенными способами преобразования категориальных значений в числовые являются два: One-Hot-Encoding и Label-Encoder [12,13].

Label Encoder кодирование включает в себя преобразование каждого значения в столбце в число (рис. 2).

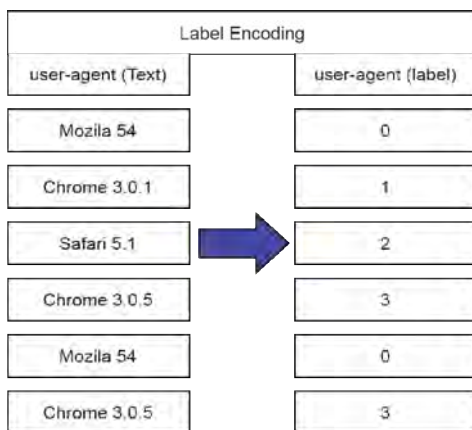


Рис. 2. Пример кодирования меток классов Label Encoder

Произведем данную операцию над подготовленными ранее базами данных используя библиотеку `SciKit-learn`. Перед выполнением кодирования произведем исключение дубликатов строк. После процесса кодирования, присвоим каждой уникальной записи свой уникальный `id`, что необходимо для обучения модели. На рисунке 3 представлен процесс кодирования каждой записи столбца меткой класса.

```
test.drop_duplicates()

le = preprocessing.LabelEncoder()
for column_name in test.columns:
    test[column_name] = le.fit_transform(test[column_name])
for i in test.index:
    test.loc[i, ['id']] = int(i)
```

Рис. 3. Кодирование меток классов Label Encoder

После кодирования меток класса, по каждому параметру формируется набор данных в виде таблицы значений меток классов, представленной на рисунке 4.

user-agent	language	canvas	webgl	webgl_vendor	adblock	has_lied_languages
1062	23	647	310	144	1	1
779	23	1013	209	415	1	1
576	23	111	972	8	1	1
922	20	914	276	415	2	1
1062	23	647	310	144	1	1
665	23	292	185	415	1	1
1022	23	647	818	164	1	1
4	29	283	973	4	1	1
872	20	268	1257	281	1	1
712	20	522	1076	370	1	1
1021	20	58	7	165	1	1
475	23	428	971	7	1	1

Рис. 4. Фрагмент данных, после кодирования меток

После кодирования информации данные разделяются на тестовые и тренировочные [`'user_agent': 'WindowsText'`] и ожидаемые значения [`'id'`].

Недостатком метода является использование последовательности чисел никак не связанных с типом данных. Так, например, между различными значениями `canvas` может не быть никакой связи, но сравнение чисел их характеризующих может ошибочно привести к выводу, что `canvas` второй записи имеет более высокий приоритет над `canvas` первой записи.

One-Hot-Encoder кодирование состоит в замене категориальной переменной комбинацией двоичных переменных, принимающих значение 0 или 1, для указания, присутствует ли в наблюдении определенная категория, как это показано на рисунке 5.

Кодер может создавать к двоичных переменных для каждой категориальной переменной, где `k`-количество уникальных категорий.



One-hot-encoding						
id	user-agent (Text)		user-agent_Mozilla54	user-agent_Chrome 3.0.1	user-agent_Safari 5.1	user-agent_Chrome 3.0.5
1	Mozilla54		1	0	0	0
2	Chrome 3.0.1		0	1	0	0
3	Safari 5.1		0	0	1	0
4	Chrome 3.0.5		0	0	0	1
1	Mozilla54		1	0	0	0
4	Chrome 3.0.5		0	0	0	1

Рис. 5. Пример кодирования меток классов One-Hot-Encoder

Произведем данную операцию над подготовленными ранее базами данных используя библиотеку Pandas. Функция `get_dummies` выполняет one-hot кодирование только категориальных данных, при этом численные данные остаются без изменений. Перед выполнением кодирования производится исключение дубликатов строк (рис. 6).

```
test=test.drop_duplicates()
features = pd.get_dummies(test)
feature_list = list(features.columns)

for i in features.index:
    features.loc[i, ['id']] = int(i)
```

Рис. 6. Кодирование меток классов One-Hot Encoder

Кодировщик берёт столбец с категориальными данными, который был предварительно закодирован в признак, и создаёт для него несколько новых столбцов. Категории заменяются на единицы и нули, в зависимости от того, какому столбцу какое значение соответствует (рис. 7).

После кодирования данные разделяются на тестовые и тренировочные данные ['color_depth:' WindowText_rgb (53, 64, 74)'] и ожидаемые значения ['id']. При этом размер закодированного датафрейма увеличивается с первоначальных 71 колонки до 5622, что является особенностью данного способа кодирования.

Проблема использования данного способа кодирования в задаче идентификации пользователя заключается в неопределённом количестве значений категориальных признаков. Каждое новое значение признака, ранее не встречавшееся при обучении модели не будет ею восприниматься, так как нарушится размерность входных данных.

Данный метод кодирования целесообразно использовать в закрытых компьютерных системах для идентификации пользователей с заранее известным количеством возможных значений категориальных признаков.

LSI Embendings

Для реализации вышеупомянутых методов кодирования предлагается использовать векторизацию признаков ФП. Для этого необходимо получить числовые признаки, полезные для решения задач классификации (обучение с учителем) или кластеризации (обучение без учителя) [1,2].

Использование кластеризации в рамках задачи идентификации пользователей интересно тем, что для получения векторов не нужно иметь размеченную выборку, что может существенно облегчить обработку данных ФП в некоторых реальных кейсах. Полученные числовые векторы – это векторные представления объектов (фингерпринтов), или эмбединги (рис. 8).

Термин «эмбединг» (от англ. *embedding* – вложение) используется в описаниях систем искусственного интеллекта. Эмбединг в NLP означает процесс или, чаще, результат процесса преобразования языковой сущности – слова, предложения, параграфа или целого текста в набор чисел – числовой вектор.

ID	local_storage	indexed_db	open_database	audio_fp	user-agent_ "Mozilla/5.0 (Macintosh; Intel Mac OS X 10_15_3) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/80.0.3987.149 Safari/537.36"	user-agent_ Mozilla/5.0 (Linux; Android 10; A7S) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/87.0.4280.141 Mobile Safari/537.36	user-agent_ Mozilla/5.0 (Linux; Android 10; AQM-LX1; HMSCore 5.1.0.309) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/83.0.4103.106 HuaweiBrowser/11.0.4.302 Mobile Safari/537.36	user-agent_ Mozilla/5.0 (Linux; Android 10; ART-L29; HMSCore 5.0.5.300) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/83.0.4103.106 HuaweiBrowser/11.0.3.304 Mobile Safari/537.36
0	1	1	1	124,043	0	0	0	0
1	1	1	1	122,428	0	0	0	0
2	1	1	1	124,081	0	0	0	0
3	1	1	1	124,043	0	0	0	0
4	1	1	1	124,043	0	0	0	0
5	1	1	1	122,201	0	0	0	0
6	1	1	1	124,043	0	0	0	0
7	1	1	1	124,081	0	0	0	1
8	1	1	1	124,043	0	0	0	0
9	1	1	1	124,043	0	0	0	0
10	1	1	1	124,043	0	0	0	0
11	1	1	1	124,081	0	0	0	0
12	1	1	1	124,043	0	0	0	0
13	1	1	1	124,043	0	0	0	0

Рис. 7. One-Hot-Encoder кодирование исходных данных



Рис. 8. Схема кодирования эмбедингов

С этой целью каждый объект (все параметры одного отпечатка) преобразовывается в строку определенного вида как это показано на рисунке 9 [8].

Var1Name	Var2Name	...
Value 1	Value 2	...
...



"Var1Name_Value1 Var2Name_Value 2..."

Рис. 9. Преобразование категориальных данных объекта в строку

Каждой уникальной записи присваивается идентификатор id (рис. 10).

```
def categorical_to_texts(data):
    """Transform categorical data rows into texts as follows:
    "Var1Name_Value1 Var2Name_Value2 ..."
    """
    new_data_list = []
    columns = list(data.columns)
    for line in tqdm(data.values):
        new_line = ''
        for pair in zip(columns, line):
            new_line = new_line + f' {pair[0]}_{pair[1]} '
        new_data_list.append(new_line)
    return new_data_list

categorical_cols = [col for col in test2.columns if col != 'id']

X_train = test[categorical_cols]
y_train = test['id']
X_test = test2[categorical_cols]
y_test = test2['id']
```

Рис. 10. Присвоение id уникальным записям

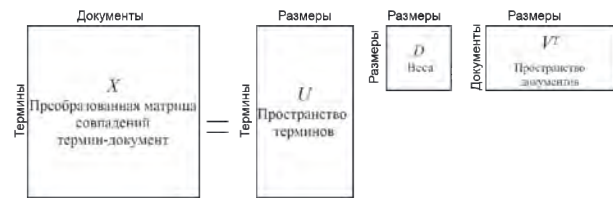
Важно знать, что перед созданием эмбедингов требуется очистить исходные данные от пустых строк и дубликатов.

Рассматривая полученные строки ФП как некоторые тексты, будем искать их тематические профили используя латентный семантический анализ LSA [14,15]. LSA — это метод обработки информации на естественном языке (NLP), анализирующий взаимосвязь между библиотекой документов и терминами, в них встречающимися, и выявляющий

характерные факторы (тематики), присущие всем документам и терминам.

Алгоритм кластеризации, основанный на использовании LSA ориентирован на группировании данных по схожести примеров функций. Например, путем оценки евклидова или манхэттенского расстояния между выборками данных.

LSA, также известный как латентное/неявное, семантическое индексирование LSI latent semantic indexing, использует модель "мешок слов" (BoW англ. *bag-of-words*), которая приводит к матрице терминов-документов (вхождение терминов в документ) [14,15]. Строки представляют собой термины, а столбцы-документы. LSA изучает скрытые темы, выполняя матричную декомпозицию матрицы терминов документа с использованием разложения по сингулярным значениям как это показано на рисунке 11.



$$X = UDV^T \approx X_k = U_k D_k V_k^T$$

Рис. 11. Разложение по сингулярным значениям

Здесь k – количество тем, то есть размерность обрабатываемых векторов.

С полученными в результате разложения профилями ($V_k D_k$) уже можно работать, как с векторами. Они и будут являться эмбедингами объектов.

Для построения модели LSI требуются словарь и корпус. Словарь, содержит идентификаторы как ключи, а слова в документе как значения. Корпус содержит сам идентификатор слова и количество раз, которое это слово встречается в каждом документе. В результате формируется матрица документ-термин как показано на рисунке 12.

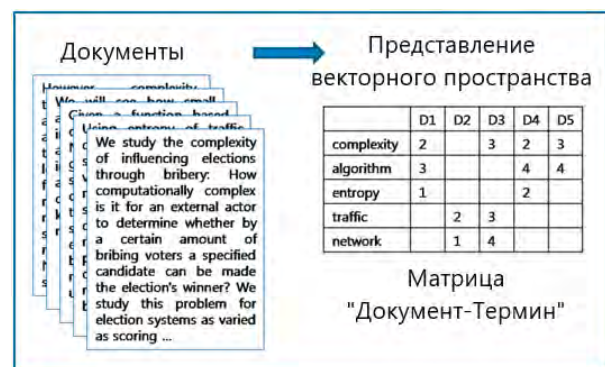


Рис. 12. Преобразование документов в матрицу «документ-термин»

Матрица «документ-термин» содержит подсчет всех слов в корпусе для каждого документа (документ в рассматриваемом случае – это 1 ФП устройства).



```
[[ (0, 1), (1, 1), (2, 1), (3, 1), (4, 1), (5, 1), (6, 2), (7, 1), (8, 1),
  (9, 1), (10, 1), (11, 1), (12, 1), (13, 1), (14, 3), (15, 1), (16, 1),
  (17, 2), (18, 1), (19, 1), (20, 1), (21, 1), (22, 1), (23, 1), (24, 1),
  (25, 1), (26, 2), (27, 1), (28, 2), (29, 1), (30, 1), (31, 1), (32, 1),
  (33, 1), (34, 1), (35, 1), (36, 1), (37, 1), (38, 1), (39, 1), (40, 2),
  (41, 1), (42, 1), (43, 1), (44, 1), (45, 1), (46, 1), (47, 2), (48, 1),
  (49, 1), (50, 1), (51, 1), (52, 1), (53, 1), (54, 1), (55, 1), (56, 1),
  (57, 1) ],
  [ (4, 2), (6, 1), (8, 1), (14, 5), (16, 1), (17, 5), (28, 4), (32, 1),
    (37, 1), (39, 1), (40, 5), (54, 2), (56, 1), (58, 1), (59, 1), (60, 1),
    (61, 1), (62, 1), (63, 3), (64, 1), (65, 1), (66, 1), (67, 2), (68, 1),
    (69, 1), (70, 1), (71, 1), (72, 1), (73, 1), (74, 1), (75, 1), (76, 1),
    (77, 1), (78, 1), (79, 1), (80, 1), (81, 1), (82, 1), (83, 1), (84, 1),
    (85, 1), (86, 1), (87, 1), (88, 3), (89, 1), (90, 1), (91, 1),
    (92, 1), (93, 2), (94, 1), (95, 1), (96, 1), (97, 1), (98, 1), (99, 1),
    (100, 1), (101, 1), (102, 1), (103, 1), (104, 1), (105, 1), (106, 1),
    (107, 1), (108, 1), (109, 1), (110, 1), (111, 1), (112, 1), (113, 1),
    (114, 2) ]]
```

Рис. 13. Корпус модели

В корпусе каждый список представляет собой документ, содержащий кортежи идентификатора слова и его частоту (рис.13). Например, в первом списке: (0,1) означает, что идентификатор слова 0 встречается один раз в первом документе; (1,1) идентификатор слова 1 встречается один раз в первом документе.

Во втором списке (4,2) означает, что идентификатор слова 4 встречается 2 раза во втором документе; (6,1) означает, что идентификатор слова 6 встречается 1 раз во втором документе; и т.д.

Таким образом применение способа LSI заключается в том, что он использует матрицу терминов документа, где строки – это уникальные слова, которые появляются в корпусе, а столбцы - это разные документы в корпусе.

В результате происходит уменьшения размерности путем декомпозиции вещественной матрицы, называемое сингулярным разложением (Singular Value Decomposition, SVD),

матрицы M и разлагает ее на 3 матрицы U, V и S [18]. Матрица U соотносит термины с темами, V связывает документы с темами, а S – диагональная матрица сингулярных значений, которые сортируются от наиболее важной (наибольшего значения) темы до наименее важной (наименьшего значения) темы.

В результате размерность матрицы до k измерений уменьшается, где k – число, указанное пользователем. В этом контексте k будет числом тем, которые будут сохранены, а все остальные темы будут отброшены. Преобразование матрицы «документ-термин» d в конечную матрицу эмбедингов документов иллюстрируется на рисунке 14.

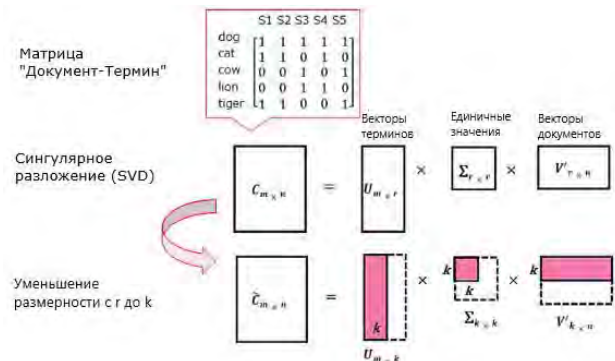


Рис. 14. Преобразование матрицы «документ-термин» d в конечную матрицу эмбедингов документов

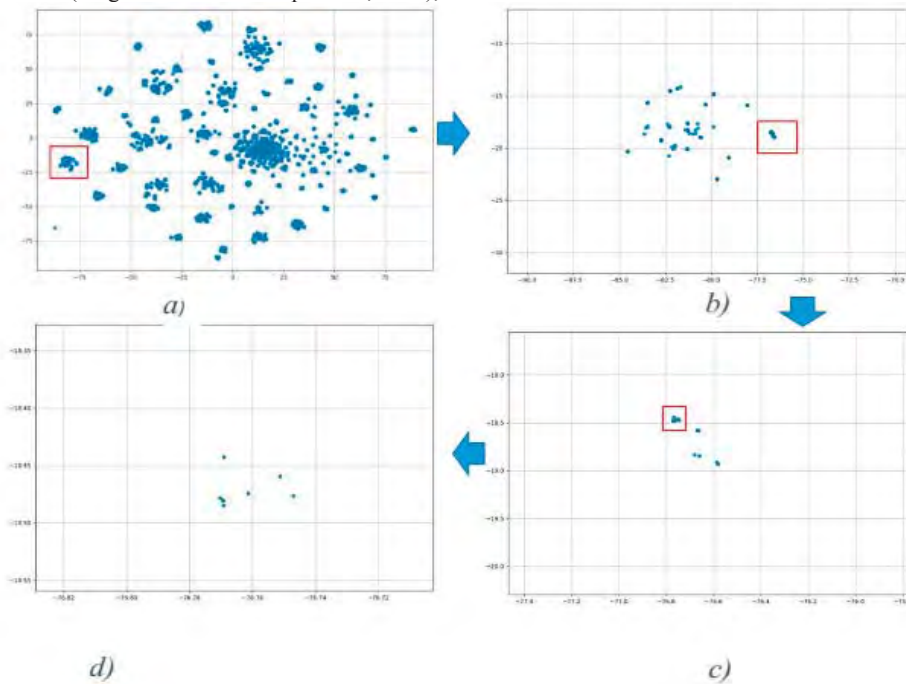


Рис. 15. Визуализация fingerprints согласно обученной модели (num_topics = 70) LSI



Для визуализации 70% объектов многомерных данных ФП использован алгоритм машинного обучения для визуализации t-SNE (t-distributed Stochastic Neighbor Embedding) [16, 17].

На рисунке 15 представлена визуализация ФП относительно скрытых семантических тем с использованием алгоритма t-SNE. Каждая из 70 тем представляет собой кластер. На рисунке 15а – красным квадратом выделен один из кластеров относящийся к n-теме, к которому относятся ФП устройства. При масштабировании рассматриваемого кластера, на рисунке 15б видно скопление ФП. При дальнейшем масштабировании группировок ФП внутри рассматриваемого кластера (рис. 15(с) – 15(д)) можно сделать вывод, что данные группировки имеют максимальные сходства между собой относительно n-темы.

При увеличении количества скрытых тем (т.е. кластеров модели) возрастают и минимальные найденные дистанции [19,20]. Это связано с тем, что при увеличении количества тем повышается размерность пространства. При низком количестве скрытых тем (от 25 до 100), модель без труда относит входной фингерпринт к общей теме модели.

Заключение

Проведенный сравнительный анализ распространенных способов преобразования категориальных значений атрибутов фингерпринтов (ФП) в числовые для идентификации анонимных пользователей с заранее известным количеством возможных значений категориальных признаков показал преимущество LSA над One-Hot-Encoding, Label-Encoder.

Показана возможность реализации кластеризации в рамках задачи идентификации пользователей путем визуализации ФП (ФП) относительно скрытых семантических тем с помощью модели латентного семантического анализа LSA. Показано, что с помощью полученных векторов объектов и векторов терминов для оценки схожести двух ФП можно при малом количестве скрытых тем предложенная модель позволяет уверенно отнести входной ФП к общей теме. С помощью полученных векторов объектов и векторов терминов для оценки схожести двух объектов ФП появляется возможность применять различные меры близости кластеров: евклидово расстояние, косинусная мера и т.д.

Литература

1. Шелухин О.И., Осин А.В. Безопасность сетевых приложений / Под ред. О. И. Шелухина. М.: Горячая линия – Телеком, 2021. 224 с.
2. Шелухин О.И., Ерохин С.Д., Полковников М.В. Технологии машинного обучения в сетевой безопасности / Под ред. О. И. Шелухина. М.: Горячая линия – Телеком, 2021. 360 с.
3. Шелухин О.И., Желнов М.С. Идентификация анонимных пользователей ВЕБ-ресурса на основе нечетких хэш-функций цифровых отпечатков устройств. REDS: Телекоммуникационные устройства и системы 2021. №2. С. 57-63.

4. Шелухин О.И., Ванюшина А.В. Анонимизация и деанонимизация пользователей интернет-порталов. М.: МТУСИ, 2021. 47 с.
5. Liu Q., Liu X. Wang, Z. Jia. Fingerprinting web browser for tracing anonymous web attackers. In IEEE First International Conference on Data Science in Cyberspace, DSC 2016, Changsha, China, June 13-16, 2016, pp. 222-229. IEEE Computer Society, 2016. 4.
6. S. Luangmaneeerote, E. Zaluska, and L. Carr. Survey of existing Fingerprint countermeasures. In 2016 International Conference on Information Society (i-Society), pp. 137-141. IEEE Computer Society, October 2016. 65, 66, 68, 69.
7. Identification of persons [Электронный источник]. URL: <https://allegro.tech/2015/03/browser-fingerprints.html>.
8. Gomez-Adorno H. et al. Document embeddings learned on various types of n-grams for cross-topic authorship attribution // Computing. 2018. P. 1-16. doi: 10.1007/s00607-018-0587-8
9. F. Alaca and P.C.V. Oorschot. Device Fingerprinting for Augmenting Web Authentication: Classification and Analysis of Methods // Annual Computer Security Applications Conference (ASAC'32), 2016. [Online]. Электронный ресурс. Доступ: <http://people.scs.carleton.ca/paulv/papers/acsac2016-device-fingerprinting.pdf>.
10. J. Devlin, M.-W. Chang, K. Lee, and K. Toutanova. "Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding." arXiv preprint arXiv:1810.04805, 2018.
11. Федюшкин Н.А., Федосин С.А. Основные технологии интеллектуального анализа текста – Развитие технических наук в современном мире. Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. № 3. Воронеж, 2016. 128 с.
12. ML. Label Encoding of datasets in Python. What is One Hot Encoding? [Электронный ресурс]. 2019. Режим доступа: <https://www.geeksforgeeks.org/ml-label-encoding-of-datasets-in-python>.
13. What is One Hot Encoding? Why And When do you have to use it? [Электронный ресурс]. 2019. Режим доступа: <https://hackernoon.com/what-is-one-hot-encoding-why-and-when-do-you-have-to-use-it-e3c6186d008f>
14. <https://heartbeat.fritz.ai/the-7-nlp-techniques-that-will-change-how-you-communicate-in-the-future-part-i-f0114b2f0497>
15. Suhyeon Kimb, Haechong Parka, Junghye Lee. Word2vec-based latent semantic analysis (W2V-LSA) for topic modeling: A study on blockchain technology trend analysis. Expert Systems with Applications. Volume 152, 15 August 2020, 113401
16. Pezzotti N, Boudewijn P. F. Lelieveldt, Laurens van der Maaten, Holth T, Eisemann E, Vilanova A. Approximated and User Steerable tSNE for Progressive Visual Analytics // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. 2017. Vol. 23, No. 7. doi:10.1109/tvcg.2016.2570755
17. George C. Linderman, Stefan Steinerberger Clustering with t-SNE, provably. 2017.
18. Алгоритм Лоуренса ван дер Маатена «t-Distributed Stochastic Neighbor Embedding». [Электронный ресурс] 2019. Режим доступа: <https://lvdmaaten.github.io/tsne/>
19. Dorenskaya E.A., Semenov Yu.A. The improved algorithm for calculation of the contextual words meaning in the text // Modern Information Technologies and IT-Education. 2019. Т. 15. С. 954-960. doi:10.25559/SITITO.15.201904.954-960
20. Top 10 Open Source Data Mining Tools» [Электронный ресурс] 2017. Режим доступа. <http://opensourceforu.com/2017/03/top-10-open-source-data-mining-tools/>



USE OF LATENT-SEMANTIC ANALYSIS IN PREPARATION OF DATA FOR IDENTIFICATION OF ANONYMOUS USERS BY DIGITAL FINGERPRINTS

OLEG I. SHELUHIN,
Moscow, Russia, sheluhin@mail.ru

ANNA V. VANYUSHINA,
Moscow, Russia, a.v.vaniushina@mtuci.ru

MAKSIM S. ZHELNOV,
Moscow, Russia, max306211@yandex.ru

KEYWORDS: *fingerprint, database, dataset, text data, categorical data, features, artificial intelligence technologies.*

ABSTRACT

Digital fingerprints changings over time as a result of system, plugins, browsers, installation of various programs updates and fonts is a serious problem in the method of tracking and identifying users using a browser (Fingerprinting (FP) of a web browser). The set of parsed attributes can contain both metrical and categorical (mostly non-numeric) values, for example, parameters such as user-agent, webgl, canvas, etc. Considering this, it is required to pre-encode them for the convenience of further processing. For these purposes, artificial intelligence technologies, including the processing of text in natural languages NLP (Natural Language Processing), are widely used. **The aim of the research** is to analyze the peculiarities of the implementation of latent-semantic analysis (LSA) in the preparation and analysis of FP data for the identification of anonymous users.

Methods. A comparative analysis of the common ways of

converting categorical values of fingerprint attributes (FP) into numeric One-Hot-Encoding, Label-Encoder, LSA for identifying anonymous users with a predetermined number of possible values of categorical features is carried out. **Results.** The advantage of the LSA algorithm over One-Hot-Encoding, Label-Encoder is shown. The possibility of clustering implementation within the framework of the user identification problem by visualizing FP (FP) relative to hidden semantic topics using the LSA model of latent semantic analysis is shown. It is shown that with a small number of hidden topics using the obtained vectors of objects and vectors of terms for assessing the similarity of two FPs, the proposed model allows us to confidently classify the input FP to a common topic. With the help of the obtained vectors of objects and vectors of terms for assessing the similarity of two FP objects, it becomes possible to apply various measures of cluster proximity: Euclidean distance, cosine measure, etc.

REFERENCES

1. O.I. Sheluhin, A.V. Osino. Bezopasnost' setevykh prilozheniy [Network application security]. Moscow: Gorjachaja linija – Telekom, 2021. 224 p. (In Rus)
2. O.I. Sheluhin, S.D. Erokhin, M.V. Polkovnikov. Machine learning technologies in network security. Moscow: Gorjachaja linija – Telekom, 2021. 360 p. (In Rus)
3. O.I. Sheluhin, M.S. Zhelnov. Identification of anonymous users of a WEB resource based on fuzzy hash functions of device digital fingerprints. *REDS: Telekommunikacionnye ustrojstva i sistemy*. 2021. No. 2. Pp. 57-63. (In Rus)
4. O.I. Sheluhin, A.V. Vanjushina. Anonymization and deanonymization users of Internet portals. Moscow. MTUCI. 2021. 47 p. (In Rus)
5. Liu, Q. Liu, X. Wang, and Z. Jia. Fingerprinting web browser for tracing anonymous web attackers. *IEEE First International Conference on Data Science in Cyberspace, DSC 2016*, Changsha, China, June 13-16, 2016, pp. 222-229. IEEE Computer Society, 2016.
6. S. Luangmaneeerote, E. Zaluska, and L. Carr. Survey of existing Fingerprint countermeasures. In *2016 International Conference on Information Society (I-Society)*, pp. 137-141. IEEE Computer Society, October 2016. 65, 66, 68, 69.
7. Identification of persons. URL: <https://allegro.tech/2015/03/browser-fingerprints.html> (date of access 08.12.2021).
8. H. Gomez-Adorno et al. Document embeddings learned on various types of n-grams for cross-topic authorship attribution. *Computing*. 2018, pp. 1-16. doi: 10.1007/s00607-018-0587-8
9. F. Alaca and P.C.V. Oorschot, "Device Fingerprinting for Augmenting Web Authentication: Classification and Analysis of Methods," *Annual Computer Security Applications Conference (ASAC'32)*, 2016. URL: <http://people.scs.carleton.ca/paulv/papers/acsac2016-device-fingerprinting.pdf>
10. J. Devlin, M.-W. Chang, K. Lee, and K. Toutanova, "Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding," arXiv preprint arXiv:1810.04805, 2018.
11. N.A. Fedjushkin, S.A. Fedosin. The main technologies of text mining – The development of technical sciences in the modern world. *Collection of scientific papers based on the results of the international scientific and practical conference*. Voronezh, 2021. No.3. 128 p.
12. ML. Label. Encoding of datasets in Python. What is One Hot Encoding? URL: <https://www.geeksforgeeks.org/ml-label-encoding-of-datasets-in-python/> (date of access 11.12.2021).
13. What is One Hot Encoding? Why And When do you have to use it? URL: <https://hackernoon.com/what-is-one-hot-encoding-why-and-when-do-you-have-to-use-it-e3c6186d008f> (date of access 11.12.2021).
14. The 7 NLP Techniques That Will Change How You Communicate in the Future (Part I). URL: <https://heartbeat.fritz.ai/the-7-nlp-techniques-that-will-change-how-you-communicate-in-the-future-part-i-f0114b2f0497> (date of access 10.12.2021)



15. Suhyeon Kimb, Haecheong Parka, Junghye Lee . Word2vec-based latent semantic analysis (W2V-LSA) for topic modeling: A study on blockchain technology trend analysis. *Expert Systems with Applications*. Volume 152, 15 August 2020, 113401

16. Pezzotti N, Boudewijn P. F. Lelieveldt, Laurens van der Maaten, Holtt T, Eisemann E, Vilanova A. Approximated and User Steerable tSNE for Progressive Visual Analytics. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. 2017. Vol. 23. No. 7. doi:10.1109/tvcg.2016.2570755

17. George C. Linderman, Stefan Steinerberger. Clustering with t-SNE, provably. 2017.

18. Lawrence van der Maaten's algorithm "t-Distributed Stochastic Neighbor Embedding". 2019. URL: <https://lvdmaaten.github.io/tsne/> (date of access 10.12.2021).

19. E.A. Dorenskaya, Yu.A. Semenov. The improved algorithm for calculation of the contextual words meaning in the text. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2019. Vol. 15, pp. 954-960. doi:10.25559/SITITO.15.201904.954-960

20. Top 10 Open Source Data Mining Tools. URL: <http://opensourceforu.com/2017/03/top-10-open-source-data-mining-tools/> (date of access 10.12.2021).

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Oleg I. Sheluhin, PhD, full professor, Head of department of Information security, MTUCI, Moscow, Russia

Anna V. Vanyushina, PhD, associate Professor at the Department of Information security, MTUCI, Moscow, Russia

Maksim S. Zhelnov, student, MTUCI, Moscow, Russia

For citation: Sheluhin O.I., Vanyushina A.V., Zhelnov M.S. Use of latent-semantic analysis in preparation of data for identification of anonymous users by digital fingerprints. *H&ES Reserch*. 2022. Vol. 14. No.1. P. 36-44. doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-1-36-44 (In Rus)





doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-1-45-52

РАЗРАБОТКА WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА НАСТРОЕНИЙ ТЕКСТА С ПОМОЩЬЮ ФРЕЙМВОРКА FLASK И ЯЗЫКА PYTHON

КОСЫХ

Никита Евгеньевич¹

ХОМОНЕНКО

Анатолий Дмитриевич²

КУРАНОВА

Ольга Николаевна³

Сведения об авторах:

¹Магистр по направлению Информационные системы и технологии Аспирант кафедры Информационные и вычислительные системы Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург, Россия, nikitosagi@mail.ru

²д.т.н., профессор, профессор кафедры Информационные и вычислительные системы Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, профессор кафедры математического и программного обеспечения Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, khomonenko@pgups.ru

³к.т.н., доцент кафедры Информационные и вычислительные системы Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург, Россия, olga_kuranova@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящее время большой практический и научный интерес представляет решение задач определения настроений пользовательских текстов, передаваемых в информационном пространстве Интернета и в других сетях. Анализ настроений текста используется исследователями и маркетологами для изучения обратной связи от пользователей. В ОАО "РЖД" такой анализ может способствовать изучению общественного мнения в интересах повышения качества пассажирских перевозок. На основе изучения общественного мнения можно изучать и совершенствовать качество образования в ВУЗах. **Цель исследования** состоит в отработке эффективной технологии применения современных инструментальных средств для разработки Web-приложения, позволяющего выполнять анализ настроений пользовательского текста. **Методы и средства.** Соответствующий указанным задачам Web-интерфейс реализован с помощью фреймворка Flask, а обучающая модель – на основе использования библиотеки TensorFlow. **Результаты.** Выполнено обоснование полного цикла создания обучающей модели на открытых данных Twitter-постов при помощи библиотеки TensorFlow, а также реализована возможность автоматического подбора параметров при помощи надстройки Keras Tuner. **Практическая значимость.** Главной отличительной чертой разработанного приложения является наличие пользовательского интерфейса, позволяющего осуществлять управление прогнозирующим и тренировочным блоками программы без необходимости ручного запуска соответствующих участков кода. Показаны необходимость и удобство работы с обучаемой моделью для классификации текста через графический Web-интерфейс. Такой подход позволяет сократить время выполнения рутинных технических манипуляций при обработке большого объема данных. Наличие обученной модели и интерфейса для работы с ней дает возможность пропускать этапы обучения и сразу перейти к этапу прогнозирования пользовательских значений. **Обсуждение.** При решении задачи анализа настроений текста изучен процесс создания модели классификации данных на основе модуля TensorFlow, а также создание нейронной сети при помощи надстройки Keras. В процессе обучения выбрана наилучшая модель по параметру "точность на тестовой выборке" с помощью Keras Tuner. Разработан Web-интерфейс на Flask, который изолирован виртуальной средой выполнения Python. Дальнейшие исследования целесообразно продолжить в направлениях практического использования полученных результатов в интересах повышения качества подготовки и переподготовки кадров в ОАО "РЖД", совершенствования характеристик классификации текстовых данных на основе использования корпусов текстов для настройки тонового классификатора, а также разработки метода предварительной очистки данных для создания модели нейросети на основе использования современных и легковесных библиотек для предварительной подготовки текста к обучению.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *определение тональности текста, web-интерфейс, язык Python, фреймворк Flask, надстройка Keras Tuner, библиотека TensorFlow.*

Для цитирования: Косых Н.Е., Хомоненко А.Д., Куранова О.Н. Разработка Web-приложения для анализа настроений текста с помощью фреймворка Flask и языка Python // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2022. Т. 14. № 1. С. 45-52. doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-1-45-52



Введение

При помощи анализа тональности текста компьютер способен понимать субъективный тон изложенного в цифровом виде материала. Благодаря тому, что в Интернете хранятся огромные объемы размеченных данных, мы можем научить программу понимать и классифицировать новые данные. Компьютер, в отличие от человека, должен справляться с этой задачей в разы быстрее.

Исследования по анализу настроений (сентиментному анализу) текста начали проводить примерно в начале 21-го столетия [1]. Достаточно современный и полный обзор зарубежных работ по этой тематике приводится в работе [2].

Анализ настроений текста используется исследователями и маркетологами для изучения обратной связи от пользователей. К примеру, в ОАО «РЖД» такой анализ может способствовать изучению общественного мнения в интересах повышения качества пассажирских перевозок. На основе изучения общественного мнения, например, как описано в [3], можно изучать и совершенствовать качество образования в ВУЗах.

В цифровых хранилищах данных хранится множество разнородной и противоречивой информации. Тем предприятиям, которым важна обратная связь от пользователей, необходимо уделять время для анализа этой информации. Целью анализа тональности является нахождение мнений в тексте и определение их полярности, кроме того, можно выделять главные тезисы из набора разрозненных предложений.

Целью предшествующих исследований, представленных в статье [4], являлся подбор оптимальных параметров для создания обученной модели методом ручного перебора, а также оценка работоспособности и адекватности модели на тренировочной выборке. В настоящей статье описывается полный цикл создания обучающей модели на открытых данных Twitter-постов при помощи библиотеки TensorFlow [5], а также реализована возможность автоматического подбора параметров при помощи надстройки Keras Tuner [6].

Все этапы обучения последовательно прописаны в блокаде Jupyter для Python. Далее обученная модель загружается в графический интерфейс с возможностью прогнозирования эмоциональной окраски пользовательского текста. Разработанный интерфейс позволяет абстрагироваться от написания команд вручную и вводить текст на экране для получения оценки его тональности и точности работы модели.

Рассмотрим основные компоненты и этапы применения современных инструментальных средств для разработки Web-приложения, позволяющего выполнять анализ настроений пользовательского текста.

Стадия проектирования программного продукта

Диаграммы UML – схематическая графическая структура, накладываемая на модель приложения, которая облегчает понимание концепции и задачи проектирования [7]. Имеет практическую пользу как для разработчиков интерфейсов, так и для бэкенд разработчиков.

Диаграмма классов (рис. 1, 2) определяет предполагаемые типы классов системы и различного рода статические связи, которые существуют между ними. На диаграммах классов в

верхней части отображаются атрибуты классов со знаком “-”, а в нижней со знаком “+” операции и методы классов для взаимодействия с другими сущностями. Это дает общее представление о приложении.

Некоторые классы программы наследуют объекты от других классов, а также реализовывают методы подключенных интерфейсов. Диаграмма классов позволяет рисовать подробные схемы, в которых схематично выделяются модули, составляющие функциональную часть программы. Для упрощения чтения диаграмм важно соблюдать парадигму – “разделяй и властвуй”, позволяющую разбить сложную систему на подзадачи.

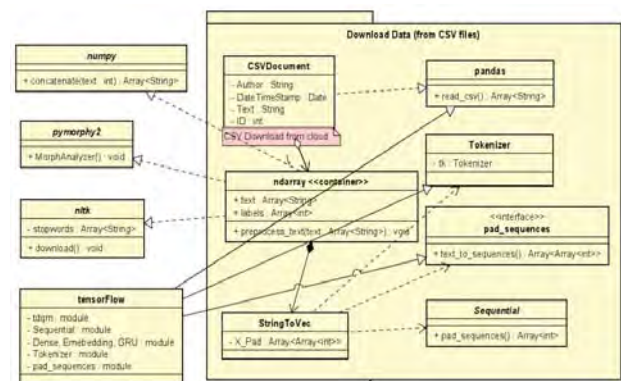


Рис. 1. Диаграмма классов для этапа загрузки данных и внешних зависимостей

На диаграмме изображена группа классов, импортированных в качестве внешних зависимостей, которые упрощают взаимодействие с разными типами данных и позволяют унифицировать разнородные типы данных. Все классы сгруппированы по логическим блокам, отвечающим за разные функциональные части проекта, данные последовательно формируются и используются разными частями проекта.

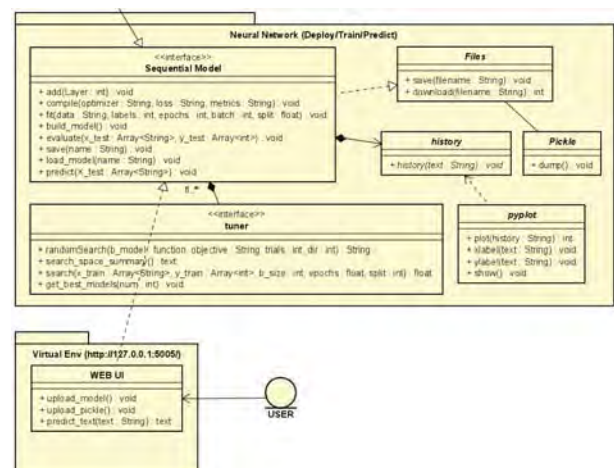


Рис. 2. Диаграмма классов для этапа развертывания и обучения нейросети



Диаграммы состояний применяются для того, чтобы объяснить, каким образом работают сложные объекты [7]. От других диаграмм диаграмма состояний (рис. 3) отличается тем, что описывает процесс изменения состояний только одного экземпляра определенного класса – одного объекта.

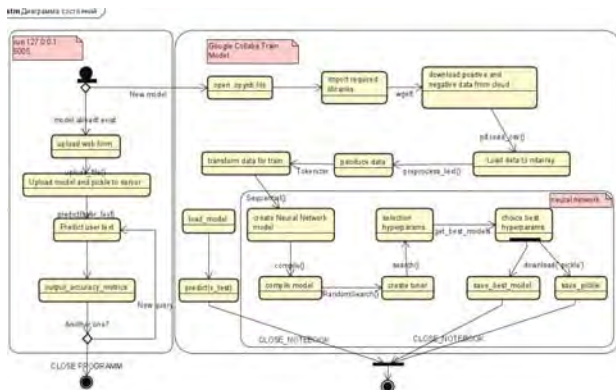


Рис. 3. Диаграмма взаимодействия состояний системы

На рисунке 3 представлена последовательность действий, описывающая взаимодействие между frontend и backend частями программы. Первая представлена web-интерфейсом пользователя, развернутом на локальном компьютере, вторая – блоком Jupyter на языке Python, формирующим конечные данные (модель) для загрузки в пользовательский интерфейс.

Представленные выше диаграммы служат основой для создания спецификации требований к программному обеспечению.

Обоснование выбора библиотеки для машинного обучения

В качестве инструментов машинного обучения можно использовать наиболее популярные решения [5, 6, 8]:

1. TensorFlow – разработан компанией Google. Позволяет реализовывать собственные алгоритмы машинного обучения.
2. PyTorch – похожая разработка от компании Facebook. Отличный фреймворк с дружелюбной документацией.
3. Skikit-learn – в отличие от вышеупомянутых вариантов, позволяет использовать готовые алгоритмы машинного обучения [8].

В научной статье [8] для машинного обучения использован инструмент Skikit-learn. Существует возможность использования различных алгоритмов обучения, однако дальнейшие улучшения ограничивались подбором оптимальных параметров обучения методом ручного перебора.

В нашем исследовании использован инструмент TensorFlow, который имеет собственный производительный фреймворк для обеспечения возможности внедрения обученной модели и оснащен подробной документацией.

Открытая библиотека TensorFlow использует статические вычислительные графы [5]. Входные данные представляются

тензорами n -ранга. Тензор – это контейнер, содержащий однородные данные, например, (int32, float32, bool), где ранги показывают число осей.

Процесс обучения останавливается, когда достигается хотя бы одна цель [9, 10]:

1. Лимит по числу итераций.
2. Достигнута желаемая точность ошибки.
3. Начат новый процесс обучения.

В разработанной программе процесс обучения останавливается при достижении заданного числа итераций. Это число является входным параметром для функции обучения модели, задаваемым пользователем.

Инструменты для разработки программного обеспечения

В качестве основных инструментов в проекте используются библиотеки Keras, TensorFlow, разработанные компанией Google, создающие каркас для глубокого обучения. Кроме того, проекте запущена виртуальная среда, внутри которой происходит запуск пользовательского интерфейса на Flask, позволяющего загружать обученные модели для определения полярности настроения пользовательского текста. Все инструменты описаны в очередности: от этапа создания модели к апробации модели на реальных данных.

Класс `tf.keras` является реализацией TensorFlow спецификации Keras API [6]. Ранее TensorFlow был отдельным модулем, но с выходом Keras v. 2.3.0 модули были полностью синхронизированы, реализуя общий программный интерфейс, включающий в себя поддержку функциональных особенностей TensorFlow таких как конвейеры операций и статистические оценки.

В библиотеке Keras для создания модели используется класс `Sequential`, отвечающий за последовательное формирование слоев. Для создания модели доступно множество различных слоев. Большинство из них используют общий конструктор аргументов.

Структура искусственной нейронной сети

Вложение слов – это класс методов для представления слов в документе с использованием плотного векторного пространства. Это дает некоторые улучшения по сравнению с моделью “мешка слов” [11], где гигантские векторы использовались для представления каждого слова или оценки каждого слова в векторе для представления всего словаря. Вместо этого, в технике встраивания слов используется единое векторное пространство, в котором отражены все слова.

Положение слова, иначе говоря, его индекс, определяется из контекста и основывается на словах, окружающих его при использовании. Положение слова в текущем векторном пространстве называется его вложением.

Библиотека Keras [12] предлагает слои встраивания, которые используются для нейронных сетей с текстовыми данными. Для их использования требуется, чтобы все входные данные были закодированы уникальным целым числом. Этап подготовки можно выполнить с помощью API `Tokenizer`.



Слой вложения определяется как первый уровень в сети и должен иметь три аргумента:

- `input_dim`: размер словаря в текстовых данных;
- `output_dim`: размер векторного пространства, в которое будут вставлены слова;
- `input_length`: длина входных последовательностей.

У этого слоя есть возможность сохранять изученные веса. При сохранении модели в файл все веса, полученные в процессе обучения, остаются. На выходе слоя встраивания оказываются 32 вектора по 32 измерения каждый, по одному на каждое слово. После определения сети печатается сводка слоев. На выходе слоя получаем матрицу 32x32, которая сжимается в 16-элементный вектор GRU-блоком.

Далее рекуррентный уровень принимает последовательные данные и обрабатывает их, чтобы вернуть 1 или несколько выходов состояния. Такой вариант называется **наложением** (рис. 4).

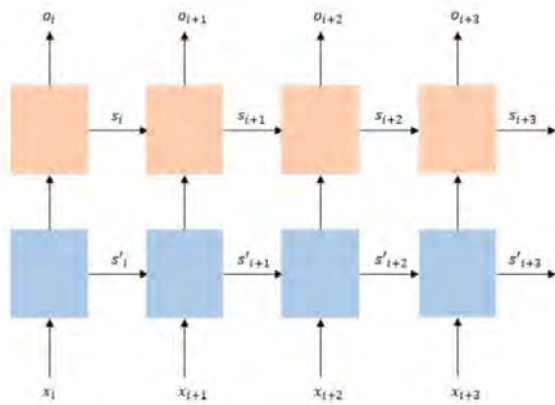


Рис. 4. Наложение рекуррентного слоя

Класс `tf.keras.layers.GRU` позволяет быстро построить рекуррентные модели без необходимости делать сложные конфигурационные настройки.

По умолчанию выход слоя содержит один вектор на элемент. Этот вектор является выходом последней ячейки рекуррентной сети, содержащей информацию обо всей входной последовательности. Размерность этого выхода равна параметру `units`, передаваемому в конструкторе (рис. 5).

```
model = Sequential()
model.add(Embedding(Dictionary_size, 32, input_length=max_len))
model.add(GRU(16))
model.add(Dense(1,activation="sigmoid"))
model.summary()
```

Рис. 5. Создание рекуррентного слоя

Последним добавляется **плотный** слой. В нем каждый нейрон получает входные данные от всех нейронов своего предыдущего слоя, т.е. GRU. Является наиболее распространенным слоем при построении моделей.

Внутри плотного слоя выполняется умножение матрицы на вектор. Значения, используемые в матрице, на самом деле

являются параметрами, которые можно обучать и обновлять с помощью метода обратного распространения ошибки.

Выходным значением является вектор размерности m . Таким образом, плотный слой используется для сокращения размерности вектора. В качестве основных параметров плотный слой принимает

`model.add(layers.dense(units, x1, x2, x3))`,

где

- `units` – размер выходного слоя (≥ 1),
 - `x1` – установка функции активации слоя,
 - `x2` –
- схемы инициализации, создающие веса слоя,
- `x3` – схемы регуляризации, такие как *L1* и *L2*.

Построение гипермодели и подбор гиперпараметров

Keras Tuner – библиотека, которая помогает выбрать оптимальный набор гиперпараметров [14] для построения модели нейронной сети.

На первой стадии необходимо описать функцию построения базовой модели с предопределенными параметрами: сигмоидная функция активации, число нейронов в диапазоне от 8 до 128 с шагом 8. В качестве алгоритма оптимизации функция Adam, используемая на замену стохастического градиентного спуска, позволяет итеративно обновлять веса в сети, используя обучающие данные. Для функции задан диапазон значений скорости приближения к минимальной функции потерь. В конце следует указать метрику, которую нужно оптимизировать, в нашем случае – точность. При этом будет апробировано большое количество различных сочетаний параметров. Наиболее удачные из них будут сохранены.

В настоящее время момент существует два способа перебора коротких параметров, таких как **поиск по сетке** и **случайный поиск**.

Поиск по сетке отлично подходит для выборочной проверки комбинаций, которые, как известно, в рамках подобных задач работают хорошо. Случайный поиск отлично подходит для обнаружения комбинаций гиперпараметров (рис. 6), так как в процессе работы накапливает информацию о целевой функции и использует её для увеличения вероятности сходимости к оптимуму [14].

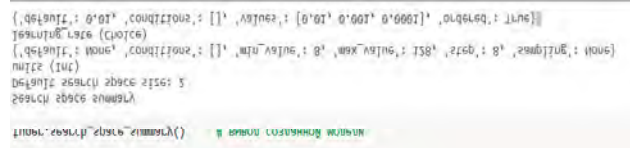


Рис. 6. Пространство поиска для гипертюнера

Функция поиска определяет наилучшее сочетание параметров входного параметра GRU слоя и скорости обучения из предложенных по интервалу с определенным шагом, а также число эпох, достаточное для качественного обучения модели.

На основании перекрестной проверки, запущенной для “тестируемой” модели, отобразим точность прогноза на проверочной выборке и динамику обучения модели (рис. 7).

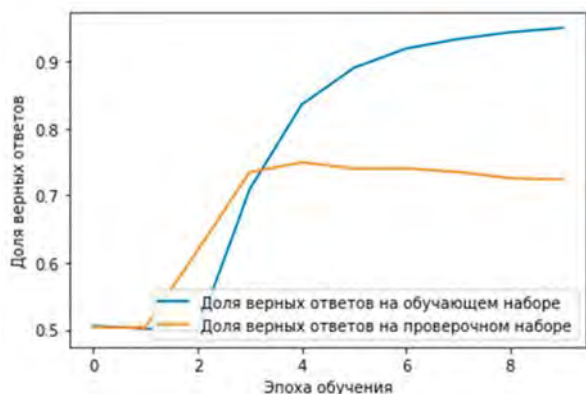


Рис. 7. Результаты перекрестной проверки обученной модели

Точность модели относительно невысокая, т.к. в эксперименте используются усеченные наборы обучающих и проверочных данных.

Загрузка виртуального окружения Python

Виртуальная среда – это инструмент, который помогает разделить зависимости, необходимые для разных проектов, путем создания на жестком диске изолированных виртуальных сред. Он является крайне важным механизмом для разработчиков, которым приходится иметь дело одновременно с разными рабочими версиями библиотек [15] и вспомогательных модулей. В таких случаях виртуальная среда обеспечивает жизнеспособность одновременно нескольких проектов и зависимости пользовательских проектов оказываются изолированы от системы и друг от друга.

Для установки в консоли необходимо ввести последовательности команд:

1. `pip install virtualenv`
2. `virtualenv --version`
3. `virtualenv myVirtualEnv`
4. `virtualenv -p /usr/bin/python3 myVirtualEnv`
5. `source virtualenv_name /bin/activate`

На шаге 4 можно указать версию Python в качестве интерпретатора. Теперь, после создания виртуальной среды, нужно активировать её, каждый раз при работе над проектом.

После активации виртуальной среды (рис. 8) имя виртуальной среды появляется в левой части терминала. Перед запуском приложения необходимо выбрать рабочую директорию, содержащую проект и подключаемые зависимости.

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe - app.py
(venv) C:\Users\User\Desktop\venv>
(venv) C:\Users\User\Desktop\venv> cd C:\Users\User\Desktop\venv\saf-3-main
(venv) C:\Users\User\Desktop\venv\saf-3-main>python app
C:\Users\User\AppData\Local\Programs\Python\Python38\python.exe: can't open file
file or directory
    
```

Рис. 8. Работа виртуальной среды

Во время выполнения Python-скрипта происходит импорт и установка необходимых зависимостей внутри виртуального окружения и запуск Web-интерфейса на локальном сервере.

Разработка пользовательского интерфейс на Flask

Flask – это небольшой легковесный Web-фреймворк, написанный на языке Python и предлагающий полезные инструменты и функции для облегчения процесса создания Web-приложений на этом языке [16]. В отличие от других разработок, позволяет создать Web-приложение быстро, используя лишь один файл Py. Flask использует механизм шаблонов Jinja для динамического создания HTML-страниц, с использованием уже знакомых понятий, таких как переменные циклы, функции и т.д. Внутри файла app.py будут обрабатываться HTTP запросы, содержится инструкция по загрузке файлов модели с локального диска и описание работы токенайзера.

После создания экземпляра app.py, система использует его для обработки поступающих Web-запросов и отправки ответов пользователю. `@app.route` – это декоратор, который превращает стандартную функцию Python в функцию просмотра Flask, конвертирующую возвращаемое значение функции в HTTP ответ, который отображается Web-браузером.

При переходе по адресу 127.0.0.1:5005 мы видим интерфейс разработанного Web-приложения (рис. 9). Три основных пункта меню, отсылающих к разным разделам: домашняя страница, загрузка файлов и переход к Google Collaborator для управления процессом обучения модели. Основное поле для ввода предназначено для обработки и анализа пользовательских предложений. Его возможности ограничиваются только функциональными возможностями элемента TextField.

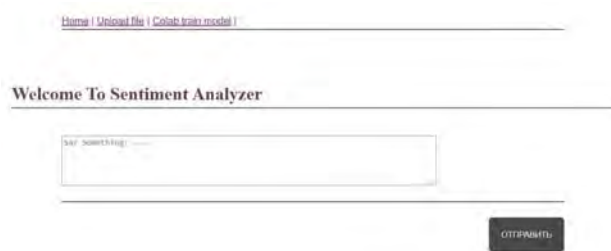


Рис. 9. Интерфейс Sentiment Analysis

После того как пользователь вводит произвольный осмысленный текст, запускаются функции предварительной обработки данных, сохраненный файл токенайзер позволяет извлечь отдельные сущности (слова), передаваемые обученной модели для функции прогнозирования [17]. В результате последовательных процедур в окне интерфейса на экране выводится ответ, который содержит следующие значения: [“пользовательское предложение” is процент положительной окраски]. В программу встроено алгоритм, по которому предложение определяется как negative, если оценка меньше 0,5,



иначе positive. Результат выполнения программы приведен на рисунке 10.

The Sentiment of:

!День рождения - самый лучший праздник, чувствую счастливым! is [0.6618401]% positive!

Рис. 10. Результат прогнозирования

Как видно из рис. 10, представленное предложение имеет на 66% позитивную окраску. Чем длиннее исследуемое предложение и содержит больше эмоционально окрашенных слов, тем приближеннее к 100% будет результат.

Заключение

Практическая значимость результатов исследования состоит в том, что показаны необходимость и удобство работы с обучаемой моделью для классификации текста через графический Web-интерфейс. Такой подход позволяет сократить время выполнения рутинных технических манипуляций при обработке большого объема данных [18]. Наличие обученной модели и интерфейса для работы с ней дает возможность пропускать этапы обучения и сразу перейти к этапу прогнозирования пользовательских значений.

При решении задачи изучен процесс создания модели классификации данных на основе модуля TensorFlow, а также создание нейронной сети при помощи надстройки Keras. В процессе обучения выбрана наилучшая модель по параметру “точность на тестовой выборке” [4] с помощью Keras Tuner. Разработан Web-интерфейс на Flask для программы анализа настроений, который изолирован виртуальной средой выполнения Python.

Дальнейшие исследования целесообразно продолжить в направлениях практического использования полученных результатов в интересах повышения качества подготовки и переподготовки кадров в ОАО «РЖД» [19], совершенствования характеристик классификации текстовых данных на основе использования корпусов текстов для настройки тонового классификатора [20–21], а также разработки метода предварительной очистки данных для создания модели нейросети на основе использования современных и легковесных библиотек для подготовки текста к обучению.

Литература

1. Тимошук А.А. Способ многоуровневой грануляции текста для проведения автоматического определения тональности текста // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. 2017. Т. 2. № 1 (3). С. 8–15.
2. Cambria E. et al. (ed.). A practical guide to sentiment analysis. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2017. Pp. 1–196.
3. Khomonenko A.D., Dashonok V.L., Ivanova K.A., Kassymova D.T. Approach to processing of data from social networks for detecting public opinion on quality of educational services. Proceedings of 2017 XX IEEE

international conference on Soft Computing and Measurements (SCM) 2017. Pp. 737–739.

4. Косых Н. Е. Оценка гиперпараметров при анализе тональности русскоязычного корпуса текстов // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2020. № 3. С. 41–43.

5. Zafar I. et al. Hands-on convolutional neural networks with TensorFlow: Solve computer vision problems with modeling in TensorFlow and Python. Packt Publishing Ltd, 2018. 272 p.

6. Manaswi N.K. Understanding and working with Keras. Deep Learning with Applications Using Python. Apress, Berkeley, CA, 2018. Pp. 31–43.

7. Faitelson D., Tyszbrowicz S. UML diagram refinement (focusing on class-and use case diagrams) // 2017 IEEE/ACM 39th International Conference on Software Engineering (ICSE). IEEE, 2017. Pp. 735–745.

8. Hao J., Ho T. K. Machine learning made easy: A review of scikit-learn package in Python programming language // Journal of Educational and Behavioral Statistics. 2019. V. 44. №. 3. Pp. 348–361.

9. Khomonenko, Anatoly D., et al. Indoor Mobile Positioning Using Neural Networks and Fuzzy Logic Control. Modern Fuzzy Control Systems and Its Applications. InTech, 2017.

10. Kosykh N.E., Khomonenko A.D., Bochkov A.P., Kikot A.V. Integration of Big Data Processing Tools and Neural Networks for Image Classification. CEUR WORKSHOP PROCEEDINGS. Proceedings of Models and Methods of Information Systems Research Workshop. 2019. V. 2556. Pp. 52–58.

11. Пархоменко П. А., Григорьев А. А., Астраханцев Н. А. Обзор и экспериментальное сравнение методов кластеризации текстов. Труды Института системного программирования РАН. 2017. Т. 29, № 2. С. 161–200.

12. Ketkar N. Introduction to keras. Deep learning with Python. Apress, Berkeley, CA, 2017. Pp. 97–111.

13. Созыкин А.В. Обзор методов обучения глубоких нейронных сетей // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика. 2017. Т. 6. № 3. С. 28–59.

14. Abdelminaam D.S., Ismail F.H., Taha M., Taha A., Houssein E.H., Nabil A. Coaid-deep: An optimized intelligent framework for automated detecting covid-19 misleading information on twitter. IEEE Access, 2021, 9. Pp.27840–27867.

15. Lenz, Moritz. "Building Packages." Python Continuous Integration and Delivery. Apress, Berkeley, CA, 2019. Pp. 67–75.

16. Idris N., Foozy C. F. M., Shamala P. A generic review of web technology: Django and flask // International Journal of Advanced Science Computing and Engineering. 2020. V. 2. No 1. Pp. 34–40.

17. Парамонов, И. Ю., Смагин, В. А., Косых, Н. Е., Хомоненко, А. Д. Методы и модели исследования сложных систем и обработки больших данных: монография. Санкт-Петербург: Лань, 2020. 236 с.

18. Grinberg M. Flask web development: developing web applications with python // O'Reilly Media, Inc., 2018. Pp. 50–55.

19. Zhuravleva N. A., Gulyi I. M., Polyanchko M. A. Mathematical description and modelling of transportation of cargoes on the base digital railway // ENVIRONMENT. TECHNOLOGIES. RESOURCES. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. 2019. V. 2. Pp. 175–179.

20. Catal C., Nangir M. A sentiment classification model based on multiple classifiers // Applied Soft Computing. 2017. V. 50. Pp. 135–141.

21. Pradha S., Halgamuge M. N., Vinh N. T. Q. Effective text data preprocessing technique for sentiment analysis in social media data. 2019 11th international conference on knowledge and systems engineering (KSE). IEEE, 2019. Pp. 1–8.



DEVELOPING A WEB APPLICATION FOR SENTIMENT ANALYSIS USING THE FLASK FRAMEWORK AND PYTHON

NIKITA E. KOSYKH

St. Petersburg, Russia, nikitosagi@mail.ru

ANATOLY D. KHOMONENKO

St. Petersburg, Russia, khomonenko@pgups.ru

OLGA N. KURANOVA

St. Petersburg, Russia, olga_kuranova@mail.ru

KEYWORDS: *determination of the tonality of the text, web interface, Python language, Flask framework, Keras Tuner add-on, TensorFlow library.*

ABSTRACT

Introduction. Currently, of great practical and scientific interest is the solution of the problems of determining the moods of user texts transmitted in the information space of the Internet and in other networks. Sentiment analysis is used by researchers and marketers to study user feedback. For example, at Russian Railways, such an analysis can contribute to the study of public opinion in the interests of improving the quality of passenger transportation. Based on the study of public opinion, for example, it is possible to study and improve the quality of education in universities. **The purpose of the study** is to develop an effective technology for the use of modern tools for developing a Web-application that allows you to analyze the sentiment of user text. **Methods and means.** The web interface corresponding to the tasks is implemented using the Flask framework, and the training model is based on the use of the TensorFlow library. **Results.** The rationale for the full cycle of creating a training model based on open data of Twitter posts using the TensorFlow library has been performed, and the ability to automatically select parameters using the Keras Tuner add-in has been implemented. **Practical significance.** The main distinguishing feature of the developed application is the presence of a user interface that allows you to control the predictive and training blocks of the program without the

need to manually launch the corresponding sections of the code. The necessity and convenience of working with a trained model for classifying text through a graphical Web interface are shown. This approach allows you to reduce the time for performing routine technical manipulations when processing a large amount of data. Having a trained model and an interface for working with it makes it possible to skip the training stages and go directly to the stage of predicting user values. **Discussion.** When solving the problem, we studied the process of creating a data classification model based on the TensorFlow module, as well as creating a neural network using the Keras add-on. In the process of training, the best model was selected for the parameter "accuracy on the test sample" using Keras Tuner. A web interface in Flask was developed, which is isolated by a virtual Python runtime. It is advisable to continue further research in the areas of practical use of the results obtained in the interests of improving the quality of training and retraining of personnel at Russian Railways, improving the characteristics of the classification of text data based on the use of text corpora to set up a tone classifier, as well as developing a method for preliminary data cleaning to create a neural network model based on the use of modern and lightweight libraries for the possibility of preliminary preparation of the text for training.



REFERENCES

1. A.A. Timoshchuk. Method of multilevel text granulation for automatic detection of text tone. *International Journal of Information Technology and Energy Efficiency*. 2017. Vol. 2. No. 1 (3). Pp. 8-15. (In Russian)
2. E. Cambria et al. (ed.). A practical guide to sentiment analysis. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2017. Pp. 1-196.
3. A.D. Khomonenko, V.L. Dashonok, K.A. Ivanova, D.T. Kassymova. Approach to processing of data from social networks for detecting public opinion on quality of educational services. *Proceedings of 2017 XX IEEE international conference on Soft Computing and Measurements (SCM)*. 2017. Pp. 737-739.
4. N.E. Kosykh. Estimation of Hyperparameters in the Analysis of the Sentiment of the Russian-Language Text Corpus. *Intellectual Technologies on Transport*. 2020. No. 3. Pp. 41-43. (In Russian)
5. I. Zafar et al. Hands-on convolutional neural networks with TensorFlow: Solve computer vision problems with modeling in TensorFlow and Python. Packt Publishing Ltd, 2018. 272 p.
6. N.K. Manaswio. Understanding and working with Keras. Deep Learning with Applications Using Python. Apress, Berkeley, CA, 2018. Pp. 31-43.
7. D. Faitelson, S. Tyszberowicz. UML diagram refinement (focusing on class-and use case diagrams). *2017 IEEE/ACM 39th International Conference on Software Engineering (ICSE)*. IEEE, 2017. Pp. 735-745.
8. J. Hao, T. K. Ho. Machine learning made easy: A review of scikit-learn package in Python programming language. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*. 2019. Vol. 44. No. 3. Pp. 348-361.
9. Anatoly D. Khomonenko et al. "Indoor Mobile Positioning Using Neural Networks and Fuzzy Logic Control." *Modern Fuzzy Control Systems and Its Applications*. InTech, 2017.
10. N.E. Kosykh, A.D. Khomonenko, A.P. Bochkov, A.V. Kikot. Integration of Big Data Processing Tools and Neural Networks for Image Classification. *Ceur workshop proceedings. Proceedings of Models and Methods of Information Systems Research Workshop 2019*. 2020. Vol. 2556. Pp. 52-58.
11. P. A. Parhomenko, A. A. Grigorev, N. A. Astrakhantsev. A survey and an experimental comparison of methods for text clustering: application to scientific articles. *Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS (Proceedings of ISP RAS)*. 2017. Vol. 29. No 2. Pp. 161-200. (In Russian)
12. N. Ketkar. Introduction to keras. Deep learning with Python. Apress, Berkeley, CA, 2017. Pp. 97-111.
13. A.V. Sozykin. An Overview of Methods for Deep Learning in Neural Networks. *Bulletin of the South Ural State University. Series "Computational Mathematics and Software Engineering"*. 2017. Vol. 6, No 3. Pp. 28-59. (In Russian)
14. D.S. Abdelminaam, F.H. Ismail, M. Taha, A.Taha, E.H. Houssein, A. Nabil, Coaid-deep: An optimized intelligent framework for automated detecting covid-19 misleading information on twitter. *IEEE Access*, 2021, 9. Pp. 27840-27867.
15. Lenz, Moritz. "State Management." Python Continuous Integration and Delivery. Apress, Berkeley, CA, 2019. Pp. 171-181.
16. N. Idris, C. F. M. Foozy, P. Shamala. A generic review of web technology: Django and flask. *International Journal of Advanced Science Computing and Engineering*. 2020. Vol. 2. No 1. Pp. 34-40.
17. I.Yu. Paramonov, V.A. Smagin, N.E. Kosykh, A.D. Khomonenko. Methods and models for the study of complex systems and big data processing: monograph. St. Petersburg: Lan, 2020. 236 p. (In Russian)
18. M. Grinberg. Flask web development: developing web applications with python. O'Reilly Media, Inc., 2018. Pp. 50-55.
19. N.A. Zhuravleva, I.M. Gulyi, M.A. Polyanichko. Mathematical description and modelling of transportation of cargoes on the base digital railway. Environment. Technologies. Resources. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. 2019. Vol. 2. Pp. 175-179.
20. C. Catal, M. Nangir. A sentiment classification model based on multiple classifiers. *Applied Soft Computing*. 2017. Vol. 50. Pp. 135-141.
21. S. Pradha, M.N. Halgamuge, N.T.Q. Vinh. Effective text data preprocessing technique for sentiment analysis in social media data. *2019 11th international conference on knowledge and systems engineering (KSE)*. IEEE, 2019. Pp. 1-8.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Nikita E. Kosykh, Master in Information Systems and Technologies, Postgraduate student of the Department of Information and Computing Systems of Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia

Anatoly D. Khomonenko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department Information and computing systems of Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, Professor of the Department of Mathematics and software of Military A.F. Mozhaisky Space Academy St. Petersburg, Russia

Olga N. Kuranova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department Information and computing systems of Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia

For citation: Kosykh N.E., Khomonenko A.D., Kuranova O.N. Developing a Web Application for Sentiment Analysis Using the Flask Framework and Python. *H&ES Reserch*. 2022. Vol. 14. No. No 1. P. 45-52. doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-1-45-52 (In Rus)



doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-1-53-58

МЕТОД ОПТИМАЛЬНОГО ПОСТРОЕНИЯ ВАРИОГРАММЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫБОРОК ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ГЕТЕРОГЕННОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЛЕЙ

АСАДОВ**Хикмет Гамид оглы¹****МАХМУДОВА****Валида Ханкиши кызы²****АННОТАЦИЯ**

Гетерогенность физических и химических свойств полей является одной из причин того, что собранный урожай оказывается количественно и качественно разным в пределах единого сельскохозяйственного поля. До сих пор вопрос о количестве или объеме получаемой при проведении оценочных работ по гетерогенности полей остается открытым. Также не исследованными оказываются условия, при которых можно было бы достичь максимального количества такой информации и тем самым осуществить точную идентификацию используемых сельскохозяйственных полей. **Цель исследований:** Оптимизация измерительных процедур, предназначенных для построения семивариограммной модели, которая позволила бы оценить пространственную взаимосвязь характеристик взятых проб и определить их случайный или систематический характер. При этом появляется возможность количественно оценить пространственную гетерогенность физико-химических характеристик почвы. **Методы решения задачи:** Практика показывает, что кривая семивариограммы в основном имеет экспоненциальный характер. Разработан метод оценки измерительной информации содержащейся в изменяемой части семивариограммы о близости результатов в двух точках, удаленных друг от друга на некоторое фиксированное расстояние h . **Результат:** Показано, что при использовании множества измерителей, погрешности которых составляют упорядоченное множество $\{\sigma_j\}$, где σ – с.к.о. измерителя, можно вычислить такое соотношение между величиной пространственного шага измерений (h) и σ , при котором предлагаемый интегральный информационный критерий достигает экстремума. **Практическая значимость:** Согласно этому порядку рост h может сопровождаться уменьшением σ , т.к. для регистрации слабеющей взаимосвязи может быть потребован более точные измерительные устройства, однако, при малом пространственном шаге h указанная взаимосвязь достаточно сильна, и потребность в точном измерении ослабевает. **Обсуждение:** Общеизвестное требование взятия минимального количества проб при заданной точности проводимых измерений обуславливает решение задачи достижения наивысокой информативности проводимых измерений. Данная задача решена в плоскости достижения высокой информативности семивариограммной модели с применением вариационного метода оптимизации.

Сведения об авторах:

¹д.т.н., профессор, Национальное
Аэрокосмическое Агентство,
Научно-Исследовательский Институт
Аэрокосмической Информатики,
г. Баку, Азербайджанская Республика,
asadzade@rambler.ru

²к.т.н., ученый секретарь, Национальное
Аэрокосмическое Агентство, Научно-
Исследовательский Институт
Аэрокосмической Информатики, г. Баку,
Азербайджанская Республика,
mammedova.valida@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сельскохозяйственные поля, гетерогенность, вариограмма, информационный критерий, измерения.

Для цитирования: Асадов Х.Г., Махмудова В.Х. Метод оптимального построения вариограммы для определения выборок при исследовании гетерогенности сельскохозяйственных полей // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2022. Т. 14. № 1. С. 53-58. doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-1-53-58



Введение

Общезвестно, что при изучении сельскохозяйственных полей для оценки свойств почвы желательно осуществить взятие минимального количества проб при заданной точности проводимых измерений. Несмотря на классические представления о гомогенности сельскохозяйственных полей в отношении содержания в них удобрений, пестицидов, и др. веществ, пространственная гетерогенность этих полей в отношении физических и химических свойств проявляет себя достаточно ярко даже на малых расстояниях взятия проб [1-4]. Гетерогенность полей является одной из причин того, что собранный урожай оказывается количественно и качественно разным в пределах единого сельскохозяйственного поля. С точки зрения точного ведения сельского хозяйства такая гетерогенность может привести не только к экономическим убыткам, но и к загрязнению окружающей среды, так как содержит в себя риск передозировки в ведении в поля удобрений.

Точное земледелие ставит целью целенаправленное управление всем циклом выращивания урожая и предусматривает всевозможные процедуры для изучения пространственной изменчивости почвенных, антропогенных, топографических, биологических и метеорологических факторов, влияющих на урожайность. Изучению гетерогенности физико-химических свойств сельскохозяйственных полей посвящено большое количество работ [5-8]. В общем случае геопространственные измерения физико-химических свойств почвы является важнейшим элементом в общем цикле работ, проводимых в точном земледелии с применением GIS технологий и средств полевого и дистанционного мониторинга земель.

Получаемая при этом информация оказывается полезной для планирования всех дальнейших работ в общем цикле проведения работ по выращиванию продукции по технологиям точного земледелия. Вместе с тем, вопрос о количестве или объеме получаемой при проведении оценочных работ по гетерогенности полей остается открытым. Также не исследованными оказываются условия, при которых можно было бы достичь максимального количества такой информации и тем самым осуществить точную идентификацию используемых сельско хозяйственных полей.

Материалы и методы

Важнейшим математическим средством, пригодным для исследования гетерогенности сельскохозяйственных полей является построение семивариограммных моделей. Эти модели позволяют определить точное количество проб извлекаемых геостатистически репрезентативным методом. Семивариограммные модели позволяют оценить пространственную взаимосвязь характеристик взятых проб и определить их случайный или систематический характер. При этом появляется возможность количественно оценить пространственную изменчивость физико-химических характеристик почвы. Согласно [14], для вычисления семивариограммных моделей используется следующая формула:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \cdot \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_t) - Z(x_t + h)]^2 \quad (1)$$

где $N(h)$ – количество пар данных, характеризующихся дистанцией h – между точками взятия соответствующих проб; $Z(x_t)$ – измеренная величина этого же показателя в другой точке поля, находящейся на расстоянии h от предвиденной точки измерения. Типичная семивариограмма рыхлости земли показана на рисунке 1 [15].

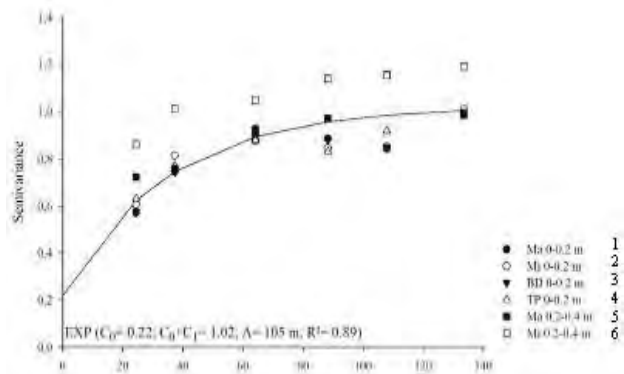


Рис. 1. Семивариограмма рыхлости земли [15].

Принятые цифровые обозначения: 1 – макро рыхлость $h=0.2$ м; 2 – микро рыхлость $h=0.2$ м; 3 – валовая плотность; 4 – общая плотность; 5 – макро рыхлость $h=0.4$ м; 6 – микро рыхлость $h=0.4$ м

Многочисленные экспериментальные исследования, проведенные различными авторами (см. например [15, 20]) показывают, что кривая семивариограммы в основном имеет экспоненциальный характер.

Например, в работе [20] приведено следующее выражение

$$\sqrt{\gamma(h)} = a_1 + a_2 [1 - \exp(-h \cdot a)] \quad (2)$$

где a_1, a_2, a являются постоянными величинами; h – шаг взятия проб.

Очевидно, что измерительная информация, содержащаяся в изменяемой части семивариограммы о близости результатов в двух точках, удаленных друг от друга на расстояние h может быть оценено как

$$M_0 = \log_2 \left[\frac{\exp(-h \cdot a)}{\sigma} \right] \quad (3)$$

где σ – с.к.о. результатов проводимых измерений.

Оценка (3) может быть рассмотрена в качестве энтропии проводимых парных измерений при построении вариограмм.

Рассмотрим вопрос об информативности результатов таких измерений. Для оценки информативности воспользуемся функционально-интегральной оценкой с дополнительным ограничительным условием с применением метода множителей Лагранжа (метод безусловной вариационной оптимизации) [20].



Оптимизация измерительных процедур по информационным критериям для определения количества точек взятия проб почвы

С учетом (4) и (5) получаем

$$M_0 = \frac{L_0}{h} \log_2 \left[\frac{A_0 \exp(-h \cdot a)}{\sigma} \right] \quad (4)$$

Введем на рассмотрение функцию $h=f(\sigma)$.

Допустим, что задано следующее ограничительное условие, где показатель σ условно принят в качестве непрерывной величины.

$$\int_0^{\sigma_{max}} f(\sigma) d\sigma = C = const \quad (5)$$

Ограничительное условие (7) можно назвать соотношением двух неопределенностей: σ и h .

Так, при линейном виде функции $f(\sigma)$, что отображено на рисунке 2, имеем

$$C = \frac{h \cdot \sigma_0}{2} \quad (6)$$

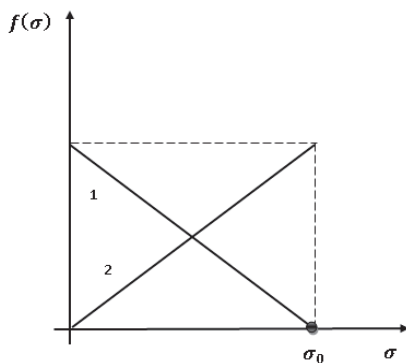


Рис. 2. Графическая иллюстрация для пояснения условия (7) цифрами 1.2 обозначены варианты взаимосвязи h и σ

Условие (8) физически объясняется следующим образом. При увеличении h для улавливания слабой взаимосвязи результатов измерений величина σ должна быть малой, а при малых h , значение σ может быть большой, так как при этом регистрируется сильная взаимосвязь между измеряемыми величинами.

Определим количество информации, получаемое при проведении измерений для построения вариограммы модели, или информативность вариограммы. Отметим, что физическая реализация ограничительного условия (4) возможно при проведении измерений используя множества измерителей с различными значениями σ , т.е. при наличии множества $\{\sigma_i\}$.

С учетом (4) и (5) количество информации, получаемой при проведении соответствующих измерений, определим как

$$M_{0инт} = \int_0^{\sigma_{max}} \frac{L_0}{f(\lambda)} \log_2 \left[\frac{A_0 \exp(-a \cdot f(\sigma))}{\sigma} \right] d\sigma + \lambda \left[\int_0^{\sigma_{max}} f(\sigma) d\sigma - C \right] \quad (7)$$

где λ – множитель Лагранжа.

Согласно [20], решение оптимизационной задачи (7) должно удовлетворять условию

$$\frac{\partial \left\{ \frac{L_0}{f(\sigma)} \log_2 \left[\frac{A_0 \exp(-a \cdot f(\sigma))}{\sigma} \right] + \lambda \cdot f(\sigma) \right\}}{\partial f(\sigma)} = 0 \quad (8)$$

Из условия (8) нетрудно получить следующее промежуточное решение

$$f(\sigma) = \sqrt{\frac{L_0(\ln A_0 - \ln \sigma)}{\lambda \cdot \ln 2}}$$

или

$$f(\sigma) = \sqrt{\frac{L_0 \ln \psi}{\lambda \cdot \ln 2}} \quad (9)$$

где

$$\psi = \frac{A_0}{\sigma} \quad (10)$$

С учетом выражений (5) и (9) имеем

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} \int_0^{\sigma_{max}} \sqrt{\frac{L_0 \ln \psi}{\lambda \cdot \ln 2}} d\sigma = C \quad (11)$$

Из (11) находим

$$\sqrt{\lambda} = \frac{1}{C} \sqrt{\frac{L_0}{\ln 2}} \cdot \int_0^{\sigma_{max}} \sqrt{\ln \psi} d\sigma$$

или

$$\lambda = \frac{L_0}{C^2 (\ln 2)} \left[\int_0^{\sigma_{max}} \sqrt{\ln \psi} d\sigma \right]^2 \quad (12)$$

С учетом (9) и (12) окончательно имеем:

$$f(\sigma) = \frac{\sqrt{\ln \psi \cdot C^2}}{\int_0^{\sigma_{max}} \sqrt{\ln \psi} d\sigma} = \frac{C \cdot \sqrt{\ln \psi}}{\int_0^{\sigma_{max}} \sqrt{\ln \psi} d\sigma} \quad (13)$$

Как видно из (13) с ростом σ должно уменьшаться h , что соответствует исходному положению (5) о соотношении σ и h .

Таким образом, оптимальным по информационному критерию (9) порядком построения вариограммы для определения выборок для исследования гетерогенности сельскохозяйственных полей является линия 1 показанная на рисунке 2, где рост σ сопровождается уменьшением $f(\sigma)$, т.е. h .

Заключение

Рассмотрен вопрос о взятии выборок на исследуемых сельскохозяйственных полях для исследования гетерогенности их физико – химических свойств. Для решения указанного вопроса используется метод построения вариограммы. Показано, что при использовании множества измерителей, погрешности которых составляют упорядоченное множество $\{\sigma_i\}$, где σ – с.к.о. измерителя, можно вычислить такое соотношение между h (величина пространственного шага измерений) и σ , при котором предлагаемый интегральный информационный критерий достигает экстремума.



Согласно этому порядку, рост h может сопровождаться с уменьшением σ , т.к. для регистрации слабеющей взаимосвязи могут быть потребованы более точные измерительные устройства, однако, при малом пространственном шаге h указанная взаимосвязь достаточно сильна, и потребность в точном измерении ослабевает.

Литература

1. *Andrade J.F., Poggio S.L., Ermácora M., Satorre E.H.* Land use intensification in the Rolling Pampa, Argentina: Diversifying crop sequences to increase yields and resource use. *European Journal of Agronomy*, 2017, no. 82, pp. 1-10.
2. *Cabrini S.M., Calcaterra C.P.* Modeling economic-environmental decision making for agricultural land use in Argentinean Pampas. *Agricultural Systems*, 2016, no. 143, pp. 183-194.
3. *Díaz de Astarloa D., Pengue W.A.* Nutrients metabolism of agricultural production in Argentina: NPK input and output flows from 1961 to 2015 nutrients metabolism of agricultural production in Argentina: NPK input and output flows from 1961 to 2015. *Ecological Economics*, 2018, no. 147(January), pp. 74-83.
4. *Pinto P., Fernandez-long M. E., Piñeiro G.* Including cover crops during fallow periods for increasing ecosystem services. Is it possible in croplands of Southern South América? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2017, no. 248, pp. 48-57.
5. *Barrena I., Menéndez S., Correa-Galeote D., Vega-Mas I., Bedmar E.J., González-Murua C., Estavillo J.M.* Soil water content modulates the effect of the nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) on nitrifying and denitrifying bacteria. *Geoderma*, 2017, no. 303, pp. 1-8.
6. *Maharjan M., Sanaullah M., Razavi B.S., Kuzyakov Y.* Effect of land use and management practices on microbial biomass and enzyme activities in subtropical top-and sub-soils. *Applied Soil Ecology*, 2017, no. 113, pp. 22-28.
7. *Lark R., & Marchant B.* How should a spatial-coverage sample design for a geostatistical soil survey be supplemented to support estimation of spatial covariance parameters? *Geoderma*, 2018, no. 319, pp. 89-99.
8. *J.-C., Brus, D. J., Rico-Ramirez, M. A., & Heuvelink, G. B. M.* Sampling design optimisation for rainfall prediction using a non-stationary geostatistical model. *Advances in Water Resources*, 2017, no. 107, pp. 126-138.
9. *Harvest Choice*, Crop Production: SPAM. International Food Policy Research Institute, Washington, DC., and University of Minnesota, St. Paul, MN. 2014. <http://harvestchoice.org/node/9716>.
10. *Osborne T., Rose G., Wheeler T.* Variation in the global-scale impacts of climate change on crop productivity due to climate model uncertainty and adaptation. *Agricultural and Forest Meteorology, Agricultural prediction using climate model ensembles*, 2013, no. 170, pp. 183-194. doi:10.1016/j.agrformet.2012.07.006
11. *Reidsma P., Ewert F., Boogaard H., Diepen K. van.* Regional crop modelling in Europe: The impact of climatic conditions and farm characteristics on maize yields. *Agricultural Systems* 2009, no.100, pp. 51-60. doi:10.1016/j.agry.2008.12.009
12. *Louhichi K., Kanellopoulos A., Janssen S., Flichman G., Blanco M., Hengsdijk, H., Heckelet T., Berentsen P., Lansink A.O., Ittersum, M.V.* FSSIM, a bio-economic farm model for simulating the response of EU farming systems to agricultural and environmental policies. *Agricultural Systems*, 2010, no. 103, pp. 585-597. doi:10.1016/j.agry.2010.06.006
13. *Hertel T., Steinbuks J., Baldos U.* Competition for land in the global bioeconomy. *Agricultural Economics*, 2013, no. 44, pp. 129-138. doi:10.1111/agec.12057.
14. *Oliver M.A., Webster R.A.* tutorial guide to geostatistics: Computing and modeling variograms and kriging. *Catena, Amsterdam*. 2014. Vol. 113. Pp. 56-69.
15. *Silva K.A., Rpdgues M.S., Moreira F.B.R., Lira A.L.F., Lima A.N.M., Cavalcante I.H.L.* Soil sampling optimization using spatial analysis in irrigated mango fields under Brazilian semi – arid conditions// *Soil and plant nutrition*. <https://dx.doi.org/10.1590/0100-29452020173>.
16. *Lark R., Marchant B.* How should a spatial-coverage sample design for a geostatistical soil survey be supplemented to support estimation of spatial covariance parameters? *Geoderma*, 2018, no. 319, pp. 89-99.
17. *Peterson S., McBratney A.B., Minasny B., Pringle M.J.* Chapter 21: Variograms of soil properties for agricultural and environmental applications. In *Pedometrics*, 2018, pp. 623-667. Berlin: Springer. Royle, J. A., & Wadous.
18. *J.-C., Brus, D. J., Rico-Ramirez, M. A., & Heuvelink, G. B. M.* Sampling design optimisation for rainfall prediction using a non-stationary geostatistical model. *Advances in Water Resources*, 2017, no. 107, pp. 126-138.
19. *Walvoort D.J.J., Brus D.J., De Guijter J.J.* An R package for spatial coverage sampling and random sampling from compact geographical strata by k-means. *Computers & Geosciences*, 2010, no. 36, pp. 1261-1267.
20. *Corwin D.L.* Delineating site – specific crop management units: precision agriculture application in GIS. https://www.ars.usda.gov/arsuserfiles/20361500/pdf_pubs/P2289.pdf
21. *Эльсольц Л.Э.* Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. М.: Наука, 1974. 432 с.



THE METHOD OF OPTIMAL CONSTRUCTION OF VARIOGRAMS TO DETERMINE THE CHOICE IN THE STUDY OF HETEROGENEITY OF AGRICULTURAL FIELDS

ASADOV HIKMET HAMID

Baku, Azerbaijan, asadzade@rambler.ru

MAHMUDOVA VALIDA KHANKISHI

Baku, Azerbaijan, mammedova.valida@mail.ru

KEYWORDS: *agricultural fields, heterogeneity, variogram, information criterion, measurements.*

ABSTRACT

Announcement: Heterogeneity of physical and chemical properties of the field is one of the reasons why the harvested crop is quantitatively and qualitatively different in the units of a single agricultural field. Until the question of the quantity or volume obtained during the evaluation of the work on the heterogeneity of the field remains open. There are also conditions under which the maximum amount of such information could be obtained and the most accurate identification of the agricultural fields used. **The purpose of the study:** Optimization of measurable procedures, designed for the construction of a semivariogram model, which allowed to evaluate the spatial relationship of the characteristics of the sample taken and to determine them randomly or systematically. At the same time there is an opportunity to quantitatively assess the spatial heterogeneity of physical and chemical characteristics of the soil. **Methods of problem solving:** Practice shows that the curvature of semivariograms is mainly exponential. Developed method of evaluation of measurable information contained in a modified part of the semivo-

gram on the convergence of results at two points, removed from each other at some fixed distance h . **Result:** It is shown that when using multiple measurements, the failures of which constitute an ordered multiplicity $\{\sigma_i\}$, where σ – s.k.o. the measurer can calculate such a relationship between the magnitude of the spatial step (h) and σ , by which the proposed integrated information criterion reaches the extremum. **Practical significance:** According to this order of growth h can be accompanied by a reduction of σ , for registration of weak interactions may be required more precise measuring devices, however, with a small spatial h h ukazannaya interrelation is sufficiently strong, and the need for exact. **Discussion:** The general requirement of taking a minimum amount of probes for the accuracy of the measured measurements determines the solution of the task of achieving the most informative of the measured measurements. This task is solved in the field of achieving high informativeness of the semivariogram model with the use of the variational method of optimization.

REFERENCES

1. J. F. Andrade, S. L. Poggio, M. Ermacora & E.H. Satorre (2017). Land use intensification in the Rolling Pampa, Argentina: Diversifying crop sequences to increase yields and resource use. *European Journal of Agronomy*, no. 82, pp. 1-10.
2. S.M. Cabrini & C.P. Calcaterra (2016). Modeling economic-environmental decision making for agricultural land use in *Argentinean Pampas. Agricultural Systems*, no. 143, pp. 183-194.
3. D. Diaz de Astarloa & W.A. Pengue (2018). Nutrients metabolism of agricultural production in Argentina : NPK input and output flows from 1961 to 2015 nutrients metabolism of agricultural production in Argentina: NPK input and output flows from 1961 to 2015. *Ecological Economics*, no. 147(January), pp. 74-83.
4. P. Pinto, M.E. Fernandez-long & G. Pineiro (2017). Including cover crops during fallow periods for increasing ecosystem services. Is it possible in croplands of Southern South American Agriculture, *Ecosystems and Environment*, no. 248, pp. 48-57.
5. I. Barrena, S. Menendez, D. Correa-Galeote, I. Vega-Mas, E.J. Bedmar, C. Gonzalez-Murua, J.M. Estavillo (2017): Soil water content modulates the effect of the nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) on nitrifying and denitrifying bacteria. *Geoderma*, no. 303, pp. 1-8.
6. M. Maharjan, M. Sanaullah, B.S. Razavi, Y. Kuzyakov (2017): Effect of land use and management practices on microbial biomass and enzyme activities in subtropical top-and sub-soils. *Applied Soil Ecology*, no. 113, pp. 22-28.
7. R. Lark & B. Marchant (2018). How should a spatial-coverage sample design for a geostatistical soil survey be supplemented to support estimation of spatial covariance parameters. *Geoderma*, no. 319, pp. 89-99.
8. J.-C., Brus, D.J., Rico-Ramirez, M.A., & Heuvelink, G.B. M. (2017). Sampling design optimisation for rainfall prediction using a non-stationary geostatistical model. *Advances in Water Resources*, no. 107, pp. 126-138.
9. Harvest Choice, 2014. Crop Production: SPAM. International Food Policy Research Institute, Washington, DC., and University of Minnesota, St. Paul, MN. Available online at <http://harvestchoice.org/node/9716>.



10. T. Osborne, G. Rose, T. Wheeler, 2013. Variation in the global-scale impacts of climate change on crop productivity due to climate model uncertainty and adaptation. *Agricultural and Forest Meteorology, Agricultural prediction using climate model ensembles*, no. 170, pp. 183-194. doi:10.1016/j.agrformet.2012.07.006
11. P. Reidsma, F. Ewert, H. Boogaard, K. van Diepen, 2009. Regional crop modelling in Europe: The impact of climatic conditions and farm characteristics on maize yields. *Agricultural Systems*, no. 100, pp. 51-60. doi:10.1016/j.agry.2008.12.009
12. K. Louhichi, A. Kanellopoulos, S. Janssen, G. Flichman, M. Blanco, H. Hengsdijk, T. Heckeleei, P. Berentsen, A.O. Lansink, M.V Ittersum, 2010. FSSIM, a bio-economic farm model for simulating the response of EU farming systems to agricultural and environmental policies. *Agricultural Systems* 103, 585-597. doi:10.1016/j.agry.2010.06.006
13. T. Hertel, J. Steinbuks, U. Baldos, 2013. Competition for land in the global bioeconomy. *Agricultural Economics*, no. 44, pp. 129-138. doi:10.1111/agec.12057.
14. M.A. Oliver, R.A. Webster. Tutorial guide to geostatistics: Computing and modeling variograms and kriging. Catena, Amsterdam. 2014. Vol. 113, pp. 56-69.
15. K.A. Silva, M.S. Rpdgues, F.B.R. Moreira, A.L.F. Lira, A.N.M. Lima, I.H.L. Cavalcante. Soil sampling optimization using spatial analysis in irrigated mango fields under Brazilian semi - arid conditions// Soil and plant nutrition. <https://dx.doi.org/10.1590/0100-29452020173>.
16. R. Lark & B. Marchant (2018). How should a spatial-coverage sample design for a geostatistical soil survey be supplemented to support estimation of spa-tial covariance parameters. *Geoderma*, no. 319, pp. 89-99.
17. S. Paterson, A.B. McBratney, B. Minasny & M.J. Pringle (2018). Chapter 21: Variograms of soil properties for agricultural and environmental applications. *In Pedometrics*, pp. 623-667. Berlin: Springer.
18. J.-C., Brus, D.J., Rico-Ramirez, M.A., & Heuvelink, G.B.M. (2017). Sampling design optimisation for rainfall prediction using a non-stationary geostatistical model. *Advances in Water Resources*, no. 107, pp. 126-138.
19. D.J.J. Walvoort, D.J. Brus & J.J. De Gruijter (2010). An R package for spatial coverage sampling and random sampling from compact geographical strata by k-means. *Computers & Geosciences*, no. 36, pp. 1261-1267.
20. D.L. Corwin. Delineating site – specific crop management units: precision agriculture application in GIS. https://www.ars.usda.gov/arsuserfiles/20361500/pdf_pubs/P2289.pdf
21. L.E. Elsgolts. *Differential Equations and Variational Calculus*. Moscow: Nauka, 1974, 432 p.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Asadov Hikmet Hamid, Doctor of Engineering, Full Professor, National Aerospace Agency, Research Institute for Aerospace Informatics, Baku, Azerbaijan

Mahmudova Valida Khankishi, PhD, Scientific Secretary, National Aerospace Agency, Scientific-Research Institute of Aerospace Informatics, Baku, Azerbaijan

For citation: Asadov H.H., Mahmudova V.Kh. The method of optimal construction of variograms to determine the choice in the study of heterogeneity of agricultural fields. *H&ES Reserch*. 2022. Vol. 14. No. 1. P. 53-58. doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-1-53-58 (In Rus)



doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-1-59-68

ON THE ISSUE OF IMPROVING THE SPEED OF DECISION-MAKING FOR THE USE OF NEAR-EARTH PROBING OUTER SPACE EQUIPMENT

DMITRY A. GURAL¹

ABSTRACT

Introduction: This article proposes a methodology for assessing the efficiency of decision-making for the use of near-Earth space sensing tools based on the software implementation of a simulation model for obtaining measurements on space objects in the middle and far near-Earth space zone by space exploration tools with the use of a software and hardware complex for collecting information. **Setting the task:** to develop an assessment methodology based on a simulation model for detecting space objects in their orbits by ground-based space observation means, taking into account various options for stochastic construction of space object trajectories and operating conditions, technical condition, geographical location and number of optical observation means. **Results:** a methodology and a simulation model of a software and hardware complex for collecting information about the space situation has been developed, taking into account various options for building orbits of observed space objects and allowing dynamically developing the simulated space situation, as well as modeling changes in the state of observation tools, taking into account changes in their technical condition, weather conditions, daily cycle and geographical location. **Practical significance:** the proposed methodology and simulation model allows calculating the optimal number of necessary means of observing outer space and their preferred locations based on an assessment of the effectiveness of their functioning during a dynamic change in the states of their functioning. **Discussion:** the novelty of the proposed task statement is that the structure of the developed methodology and simulation model allows you to take into account various factors affecting the means of observation and build probabilistic estimates of the effectiveness of their functioning based on a dynamic change in the states of functioning of the means of observation.

Information about authors:

¹ Candidate of Scientific degree of
Candidate of Sciences, Moscow, Russia,
gural@mail.ru

KEYWORDS: *simulation model, means of observing outer space, space objects, artificial Earth satellite, hardware and software complex, optical means.*

For citation: Gural D.A. On the issue of improving the speed of decision-making for the use of near-Earth probing outer space equipment. *H&ES Reserch*. 2022. Vol. 14. No. 1. P. 59-68. doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-1-59-68 (In Rus)



Introduction

Since the launch of the first spacecraft on October 4, 1957, the number of space objects in near-Earth space has been continuously growing. Along with the growing number of artificial Earth satellites (AES), their tasks and capabilities are becoming more complicated and growing, which entails an urgent need to monitor their movement in orbits and control their maneuvers. If the control of the satellite in the near operational space zone is well organized with the use of radio-electronic means, then the monitoring of the middle and far operational space zones is carried out by optical means with great limitations. In order to organize effective control of these space zones, it is first of all necessary to determine the capabilities of optical means for monitoring existing and output satellites, as well as the possibility of obtaining this information by consumers. To this end, it is proposed to develop a methodology based on a simulation model using the Monte Carlo method to assess the probability of successful detection of spacecraft in their orbits, which is able to take into account various variants of the space situation and various states of ground-based optical observation means.

Development of a simulation model for obtaining measurements on space objects by means of space monitoring

If we compare simulation models with analytical models, then their main advantage is the opportunity to solve complex mathematical problems. It is simulation models that allow us to take into account both discrete and continuous elements, as well as nonlinear characteristics, random impacts, etc.

The simulation algorithm implementing the model reproduces the process of functioning of the entire system in time. The phenomena, as well as the states that make up the process, are modeled, always preserving their logical structure and the sequence of their course in time. The developed simulation model of the process of functioning of the system of observation of space objects is a stochastic, discrete, dynamic model designed to assess the probabilistic and temporal characteristics of the process of obtaining information about the space environment.

According to the guidance documents defining the requirements for the operation of information systems for the control of outer space, expressed in certain values of the probabilistic-temporal characteristics of the time of non-control of the AES in their orbits of movement, the indicator of the efficiency of the automated system for providing information about the medium and long-range operational space zones is the indicator of the average non-control of the ISS, the probability of timely detection of movement AES and the relevance of incoming information about the space situation to consumers [1-10].

Thus, the purpose of simulation modeling (Fig. 1) is to determine the values of the selected efficiency indicator for various variants of the space situation and the state of space exploration facilities. When developing a specific model, the purpose of modeling should be clarified taking into account the efficiency criterion used. For the criterion of suitability, the model, as a rule, should provide the calculation of the values of efficiency indicators for the entire set of possible variants of the space situation and the state of the space control system [11-21].

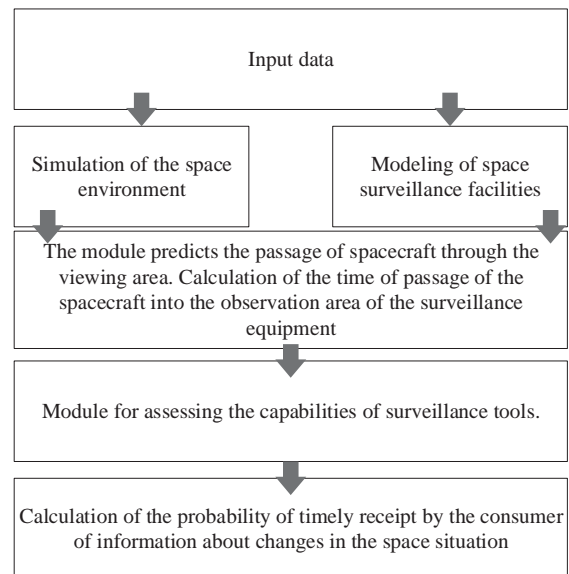


Fig. 1. Functional diagram of the simulation model

To simulate the space situation, it was decided to take into account three groups of AES:

- spacecraft moving in known orbits;
- maneuvering spacecraft;
- output spacecraft.

When modeling the state of ground-based optical means, the following factors were taken into account:

- withdrawal of funds for maintenance;
- violation of the functional technical condition;
- limitation of the operation of the space monitoring system due to adverse weather conditions;
- limitations of the operation of the space monitoring system associated with changes in the time of day.

Based on the tasks assigned to the model, a block diagram of the methodology for assessing the efficiency of decision-making based on the simulation model was proposed (Fig. 2).

The initial data are (Block 1):

- parameters of the AES orbits from the catalog of space objects;
- coordinates of the standing point of the launch complex output AES;
- coordinates of the standing points of optical means of space control;
- maintenance plans for space controls;
- design parameter of operating time for failure of space monitoring equipment (SME);
- date and time of the start of the simulation;
- a variant of modeling the space situation;
- the number of runs of the model.

Block 2 sets a cycle in the model with the number of N passes to obtain the most accurate probabilistic characteristics of timely learning of information and the relevance of the information received.



Blocks 3, 4, 5, 7, 9 perform the function of selecting a variant for calculating the space situation in accordance with the initial parameter Q from four given options:

1. Execution of the spacecraft model from the outer space catalog;
2. Execution of the model by maneuvering spacecraft;
3. Execution of the model for launched spacecraft;
4. Execution of the model for all types of spacecraft.

Block 6 implements the operation of the model according to the parameters of the orbits of spacecraft taken from the catalog of space objects.

Block 8 is a stochastic block and implements a model for obtaining the parameters of the orbits of the output spacecraft:

The input data for this model is the coordinates of the launch point of the launch vehicle (PH) and the azimuth of the launch, while the velocity of the PH movement will be stochastic.

To calculate the parameters of the orbits (Fig. 3) necessary for the further operation of the model, the coordinates of the launch vehicle were found based on the data derived from $x_{cm}, y_{cm}, (z_{cm} = 0)$ and projections of the speed of movement

$V_{xcm}, V_{ycm}, (V_{zcm} = 0)$ at the end of the active section relative to the starting coordinate system OX_c, Y_c, Z_c . To calculate the parameters of the launch orbit, it is necessary to calculate the coordinates x_0, y_0, z_0 and velocity projections V_{x0}, V_{y0}, V_{z0} at the same time for the inertial coordinate system O_u, X_u, Y_u, Z_u (initial conditions of passive movement).

The geocentric equatorial coordinate system, the axis, is chosen as the inertial reference system $O_s X_s$ which passes through the meridian of the starting point at the end of the active section. The inertial coordinate system introduced in this way is rotated relative to the stellar geocentric inertial system by an angle where S^* – local sidereal time at the time of the spacecraft entering the reference orbit. Position of the starting coordinate system OX_c, Y_c, Z_c relative to the accepted inertial O_u, X_u, Y_u, Z_u determined by the latitude of the starting point from the source data φ_{cm} and the launch azimuth A_0 (fig. 3).

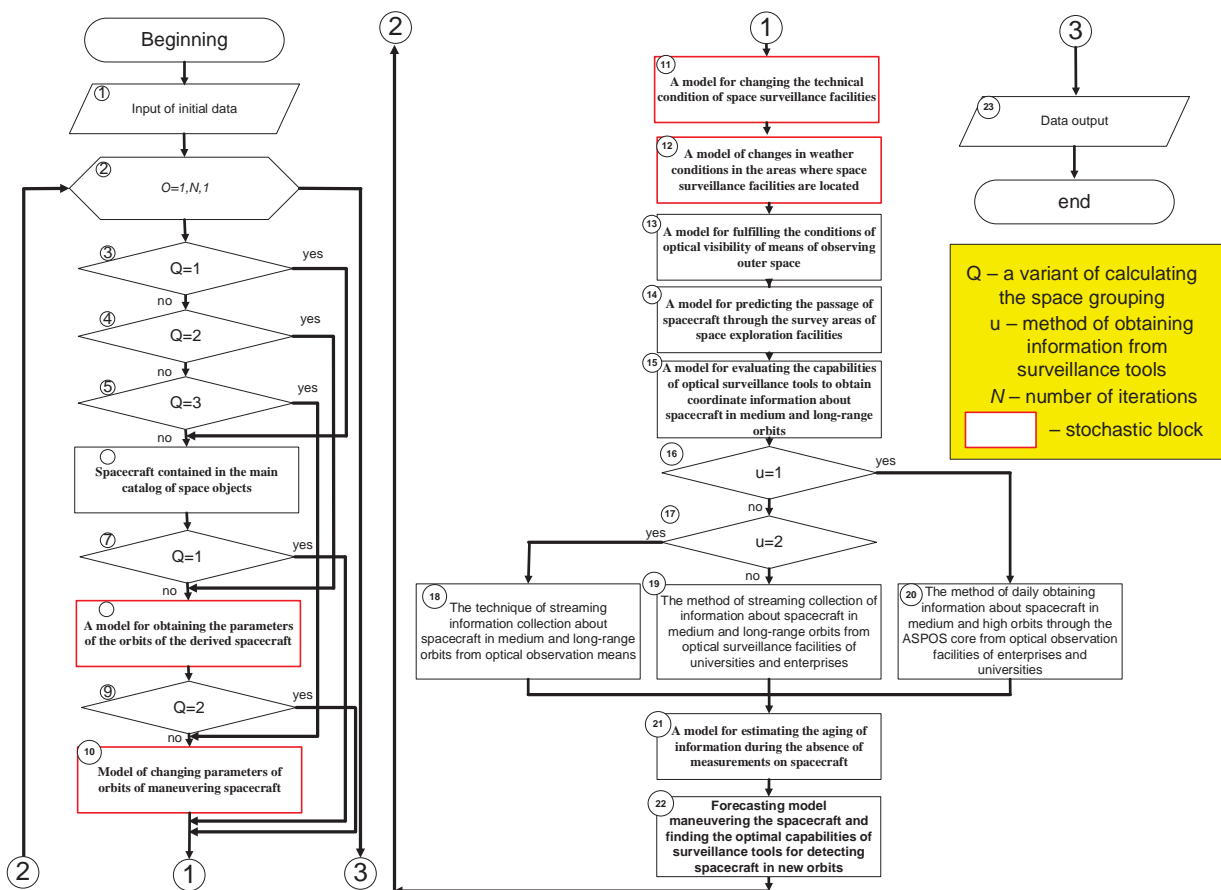


Fig. 2. Block diagram of the methodology for assessing the efficiency of decision-making based on the simulation model of the process of functioning of the software and hardware complex for collecting information about the space situation



Transition from the coordinates of the end of the active section x_{cm}, y_{cm}, z_{cm} in the starting system to the initial coordinates x_0, y_0, z_0 the orbital motion in the geocentric inertial system (Figure 2) is performed according to the formulas:

$$\begin{aligned} x_0 &= -x_{ck} \cos A_0 \sin \varphi_{cm} + (R_3 + y_{ck}) \cos \varphi_{cm} \\ y_0 &= x_{ck} \sin A_0 \\ z_0 &= -x_{ck} \cos A_0 \cos \varphi_{cm} + (R_3 + y_{ck}) \sin \varphi_{cm} \end{aligned} \quad (1)$$

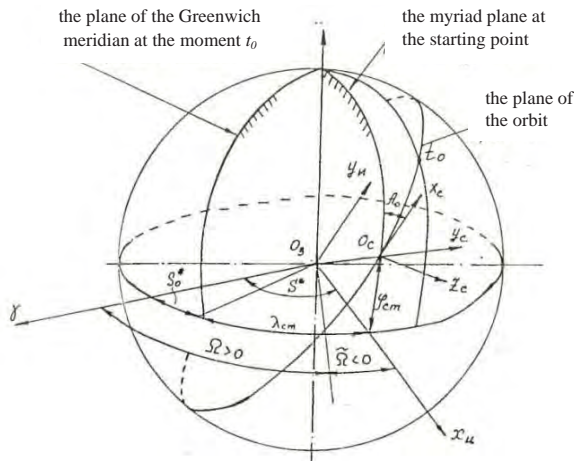


Fig. 3. Basic coordinate systems and their orientation in space

The magnitude of the radius vector of the initial point of orbital motion:

$$r_0 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2 + z_0^2} \quad (2)$$

Projections relative to V_{ck} on the axis of the geocentric system O_u, X_u, Y_u, Z_u выражаются через проекции относительной скорости $V_{xck}, V_{yck}, (V_{zck} = 0)$ expressed in terms of relative velocity projections

The absolute velocity at the beginning of the orbital motion consists of the relative velocity $\overline{V}^r = \overline{V}_{ck}$ and the portable speed, which is determined by the formula:

$$\overline{V}^e = \overline{\omega}_3 \times \overline{r}_0 = \begin{vmatrix} \overline{i}_u & \overline{j}_u & \overline{k}_u \\ 0 & 0 & \overline{\omega}_3 \\ x_0 & y_0 & z_0 \end{vmatrix} = -\overline{\omega}_3 y_0 \overline{i}_u + \overline{\omega}_3 z_0 \overline{j}_u \quad (3)$$

where $\overline{i}_u, \overline{j}_u, \overline{k}_u$ – unit vectors of the geocentric coordinate system.

Thus, the projection of the absolute velocity on the geocentric coordinate axes at the initial point of the orbit is determined by the formulas:

$$\begin{aligned} V_{x0} &= V_{xck} \cos A_0 \sin \varphi_{cm} + V_{yck} \cos \varphi_{cm} - \overline{\omega}_3 y_0 \\ V_{y0} &= V_{xck} \sin A_0 + \overline{\omega}_3 x_0 \end{aligned} \quad (4)$$

$$V_{z0} = V_{xck} \cos A_0 \cos \varphi_{cm} + V_{yck} \sin \varphi_{cm}$$

The magnitude of the initial velocity of the orbital motion and its angle of inclination to the local horizon, respectively:

$$\begin{aligned} V_0 &= \sqrt{V_{x0}^2 + V_{y0}^2 + V_{z0}^2} \\ \theta_0 &= \arcsin \frac{x_0 V_{x0} + y_0 V_{y0} + z_0 V_{z0}}{r_0 V_0} \end{aligned} \quad (5)$$

When launching spacecraft, the elements of the launch orbit are determined. First, the components and the modulus of the vector constant of the area integral (sector velocity) are found:

$$\begin{aligned} C_1 &= y_0 V_{z0} - z_0 V_{y0}, \\ C_2 &= z_0 V_{x0} - x_0 V_{z0}, \\ C_3 &= x_0 V_{y0} - y_0 V_{x0}, \\ C &= \sqrt{C_1^2 + C_2^2 + C_3^2} \end{aligned} \quad (6)$$

The calculation of the elements of the orbit is carried out in the specified sequence:

– longitude of the ascending node Ω relative to the accepted inertial reference frame:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \Omega &= -\frac{C_1}{C_2}, \quad \sin n(\sin \Omega) = \sin n C_1 \\ \sin n(\cos \Omega) &= \sin n C_2 \end{aligned} \quad (7)$$

– inclination of the orbit relative to the plane of the equator:

$$\cos i = \frac{C_3}{C} \quad (8)$$

– eccentricity e , semimajor axis a , period of circulation T :

$$\begin{aligned} e &= \sqrt{1 + (v_0 - 2)v_0 \cos^2 \theta_0} \\ v_0 &= \frac{V_0^2 r_0}{\mu} = \left(\frac{V_0}{V_{kp}} \right)^2 \end{aligned} \quad (9)$$

$$a = \frac{r_0}{2 - v_0} \quad (10)$$

$$\rho = a(1 - e^2)$$

$$T = 2\pi \frac{a^3}{\sqrt{\mu}} \quad (11)$$

– perigee's argument:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \vartheta_0 &= \frac{v_0 \sin \theta_0 \cos \theta_0}{v_0 \cos^2 \theta_0 - 1} \\ \sin n(\sin \vartheta_0) &= \sin n(\sin \theta_0) \end{aligned}$$



$$\sin n(\cos \vartheta_0) = \sin n(v_0 \cos^2 \theta_0 - 1) \quad (12)$$

$$\cos \theta_0 = \frac{\sqrt{C_1^2 + C_2^2 + C_3^2}}{r_0 V_0}$$

$$\sin \theta_0 = \frac{x_0 V_{x0} + y_0 V_{y0} + z_0 V_{z0}}{r_0 V_0}$$

$$\sin U_0 = \frac{z_0}{r_0 \sin i}$$

$$\cos u_0 = \frac{x_0 \cos \Omega_0 + y_0 \sin \Omega_0}{r_0}$$

$$\omega = u_0 - \vartheta_0$$

– the moment of time of passage through the perigee: τ :

$$tg \frac{E_0}{2} = \sqrt{\frac{1-e}{1+e}} tg \frac{\vartheta_0}{2}$$

$$\tau = t_0 - \frac{a^2}{\sqrt{\mu}} (E_0 - e \sin E_0) \quad (13)$$

Thus, the field of operation of block 8, the output data will be the parameters of the orbit of the output spacecraft (spacecraft): the longitude of the ascending node Ω , inclination of the orbit relative to the equator plane, eccentricity e , large semi-axis a , the period of circulation, the argument of the perigee and the time of passage through the perigee τ .

Block 9 is also a stochastic block for constructing the space environment and implements a model for obtaining the parameters of orbits of maneuvering satellites.

Single-pulse coherent transitions were chosen as the main types of spacecraft maneuver.

The input data for the model for obtaining the parameters of the orbits of maneuvering satellites are the initial parameters of the orbits of spacecraft selected from the catalog of space objects, while the stochastic parameters necessary for modeling the maneuver are the velocity pulse and the angle of its application.

Initial conditions $x_0, y_0, z_0, V_{x0}, V_{y0}, V_{z0}$ - in the absolute coordinate system, correspond to the starting point of the output. After integration, we obtain the state vector of the spacecraft at the moment of time (x, y, z, V_x, V_y, V_z) figure 4.

The parameters of the spacecraft orbit can be calculated using the state vector.

Focal parameter:

$$p = C^2 / \mu_z, \text{ where } C - \text{ is the integral of the areas.}$$

$$C = r \times V, |C| = C = \sqrt{(C_x^2 + C_y^2 + C_z^2)}$$

$$C_x = yV_z - zV_y$$

$$C_y = zV_x - xV_z$$

$$C_z = xV_y - yV_x$$

– projections on the axis of the absolute coordinate system;

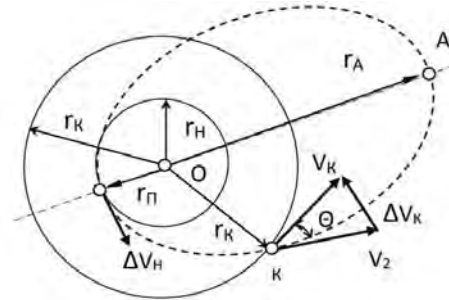


Fig. 4. Crossing orbit flight

Eccentricity:

$e = f / \mu_z$ where f – Laplace vector

$$f = V \times C - \mu_z r / r, |f| = f = \sqrt{(f_x^2 + f_y^2 + f_z^2)}$$

$$f_x = V_y C_z - V_z C_y \quad \mu_z x / r$$

$$f_y = V_z C_x - V_x C_z \quad \mu_z y / r$$

$$f_z = V_x C_y - V_y C_x - \mu_z z / r$$

– projections on the axis ACK;

Large semi-axis:

$$\rho = a(1 - e^2)$$

Inclination of the orbit:

$$C_x = C \sin(i) \sin \Omega$$

$$C_y = C \sin(i) \cos \Omega$$

$$C_z = C \cos(i)$$

The inclination of the orbit can be found from the formula:

$$i = \arccos(C_z / C)$$

Longitude of the ascending node:

$$\sin \Omega = C_x / C \sin(i)$$

$$\cos \Omega = C_y / C \sin(i)$$

$$\text{If } \sin \Omega \geq 0, \Omega = \arccos(-C_y / C \sin(i))$$

$$\text{If } \sin \Omega < 0, \Omega = 360 - \arccos(-C_y / C \sin(i))$$

The Perigee argument:

$$f_x = f(\cos \omega \cos \Omega - \sin \omega \sin \Omega \cos(i))$$

$$f_y = f(\cos \omega \cos \Omega + \sin \omega \sin \Omega \cos(i))$$

$$f_z = f \sin \omega \sin(i)$$

$$\cos \omega = f_x \cos \Omega / f = f_y \sin \Omega / f$$

$$\sin \omega = f_z / f \sin(i)$$



If $\sin \omega > 0$, $\omega = \arccos(f_x \cos \Omega / f + f_y \sin \Omega / f)$

If $\sin \omega < 0$, $\omega = 360 - \arccos(f_x \cos \Omega / f + f_y \sin \Omega / f)$

Period of treatment:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{a^3}{\mu_z}}$$

The output parameters of the model will be the parameters of the orbit of the spacecraft after the maneuver.

Block 11 also introduces probabilistic characteristics, but already in the state of ground-based means of controlling outer space and contains two components:

1. The schedule of withdrawal of funds for maintenance (on optical means for which it is known), which is entered as input data;

2. The probability of the control system going into an inoperable state in case of a technical failure.

If the first component is specific for the start of the model, then the second one uses the failure time for a specific node as the initial data and allows you to calculate the probability of its failure included in the initial data and representing the number of failures over the last year of operation of the space monitoring system:

$$P_k^{\text{вых}} = \frac{T_{\text{фун}} - T_{\text{раб}} - T_{\text{вых}}}{T_{\text{фун}}}$$

The output data of block 11 is a matrix of technical conditions of monitoring facilities, where the simulated time period is $S_{\text{mex}}(t)$,

$$S_{\text{mex}}(t) = \begin{matrix} & t_1, t_2, \dots, t_i \\ \begin{matrix} G_1 \\ G_2 \\ \dots \\ G_j \end{matrix} & \left| \begin{matrix} S_{11}, S_{12}, \dots, S_{1i} \\ S_{21}, S_{22}, \dots, S_{2i} \\ \dots \\ S_{j1}, S_{j2}, \dots, S_{ji} \end{matrix} \right. \end{matrix}$$

Block 12 is also stochastic and allows you to calculate the probability of the working state of the UPC depending on environmental conditions (transparency of the atmosphere, emergency formations)

The input data is the date and time of the start of the simulation, the coordinates of the state of the monitoring facilities:

$$P_{cp}^{\text{раб}}(t) = P_{HC} \sin(t)$$

$$S_{ji}[1, 0] = P_{cp}^{\text{раб}} \geq 0.5$$

The output data of the modeling block is a matrix of the states of the monitoring means according to the state of the environment

$$S_{cp}(t) = \begin{matrix} & t_1, t_2, \dots, t_i \\ \begin{matrix} G_1 \\ G_2 \\ \dots \\ G_j \end{matrix} & \left| \begin{matrix} S_{11}, S_{12}, \dots, S_{1i} \\ S_{21}, S_{22}, \dots, S_{2i} \\ \dots \\ S_{j1}, S_{j2}, \dots, S_{ji} \end{matrix} \right. \end{matrix}$$

Seasons (months)			
12-02		06-08	09-11
Probability of adverse conditions	Probability of adverse conditions	Probability of adverse conditions	Probability of adverse conditions
P_{HC}	P_{HC}	P_{HC}	P_{HC}
0.83	0.71	0.63	0.7
0.85	0.68	0.61	0.66
0.87	0.69	0.67	0.67
0.78	0.72	0.7	0.71
0.8	0.77	0.71	0.76
0.66	0.61	0.56	0.57
0.58	0.57	0.54	0.58
0.57	0.47	0.44	0.48
0.68	0.61	0.57	0.6
0.51	0.45	0.44	0.47
0.49	0.35	0.31	0.35
0.46	0.36	0.35	0.37
0.47	0.37	0.31	0.36
0.46	0.35	0.25	0.31
0.44	0.37	0.22	0.33

Block 13 is a model for calculating the time of the onset of sunsets and sunrises in the area of the location of surveillance equipment, which determines the time of its operation. Accordingly, the input data of the block are the date and time of the beginning of the simulation and the latitude of the space exploration facility:

$$\cos \omega_0 = -\tan \phi \tan \delta$$

$$\delta = \sin^{-1}(\sin \varepsilon \sin \lambda)$$

ϕ – the latitude of the observation facilities;

ω_0 – hour angle;

δ – declination of the sun;

$n = JD - 2451545.0$ (=number of days from J2000.0). Julian Day (JD) on June 10, 2002 at 0h00 UT: 2452435.5;

$L = 280.472 + 0.9856474n$ – the average longitude of the sun;

$g = 357.528 + 0.9856003n$ – average anomaly;

ecliptic longitude:

$$\lambda = L + 1.915 \sin g + 0.020 \sin 2g$$

the inclination of the ecliptic

$$\varepsilon = 23.439 - 0.0000004n$$

$$T_{\text{вос.м}} = T_{\text{ноз}} + \omega_0$$

$$T_{\text{зак.м}} = T_{\text{ноз}} - \omega_0$$

The output data of block 13 is a matrix of the states of the monitoring means according to the operating time, depending on the time of day $S_{\text{сйм}}(t)$.

Block 14 allows you to calculate the time of the spacecraft's entry into the observation areas by combining the output data of the blocks 2, 6, 8, 10, 11, 12, 13, which are its input data. The operation of the prediction model of the spacecraft passage through the observation area is built in accordance with the block diagram shown in Figures 5-6.

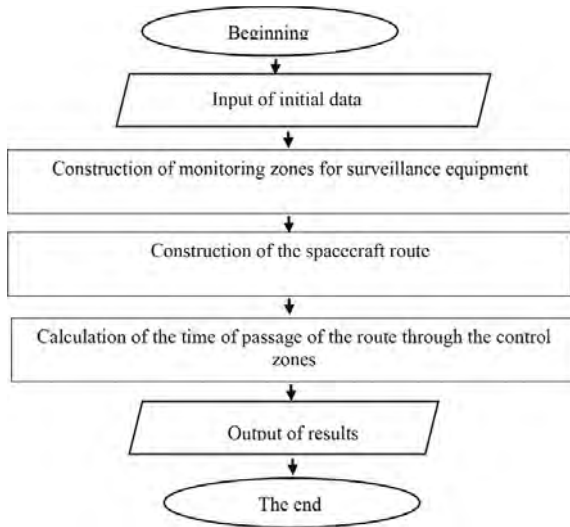


Fig. 5. Block diagram of the construction of the spacecraft route

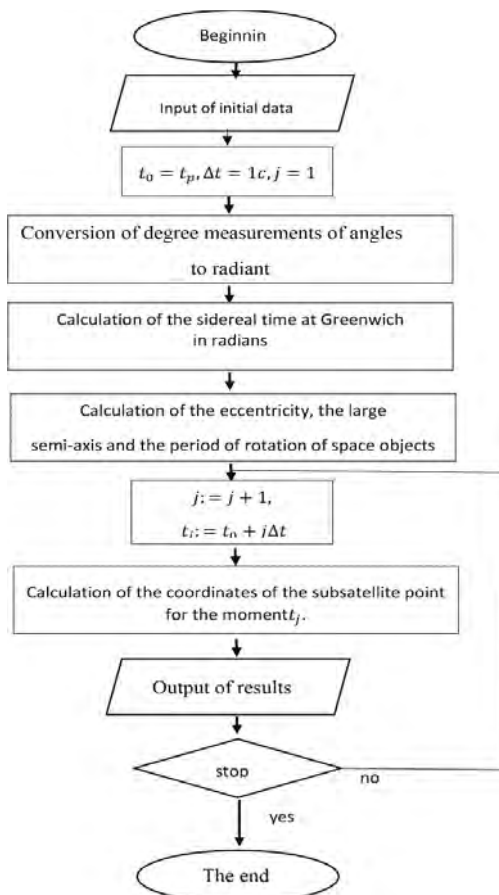


Fig. 6. Block diagram of the construction of the route of an artificial Earth satellite

In the block "Construction of monitoring zones of surveillance means", projections of zones on the Earth map should be constructed.

In the "Building the spacecraft route" block, the routes of the space object should be displayed in dynamics (real or accelerated time mode).

In the block "Calculation of the time of passage of the route through the monitoring areas of the monitoring means", if the spacecraft has entered the monitoring zone, the time of entry into the zone, exit from the zone, as well as the time spent in the monitoring area by the monitoring means should be displayed.

Block 15 is responsible for the accumulation and processing of the received statistical data on the hit and location of the spacecraft in the observation area of the surveillance equipment.

Blocks 16,17 implements the process of selecting the method of collecting information by the command post of the system from surveillance means.

Blocks 18,19,20 implement methods of collecting information from the means of space exploration.

Block 21 is a model for assessing the relevance of the learned information from the means of observation based on the chosen method of collection by calculating the time of aging of information since the last measurement on the spacecraft.

Block 22 implements the data output function.

Conclusion

The methodology and simulation model proposed in the work allows us to calculate the optimal number of necessary means of observing outer space and the preferred areas of their placement based on an assessment of the effectiveness of their functioning with a dynamic change in the states of their functioning. The novelty of the proposed formulation of the problem is that the structure of the developed methodology and simulation model allows us to take into account various factors affecting the means of observation and to build probabilistic estimates of the effectiveness of their functioning, based on dynamic changes in the states of functioning of the means of observation.

References

1. Boikova A.V. The use of information technologies in the educational process of a military university. *Online magazine "World of Science"*. 2017. Vol. 5, No. 6. URL: <https://mir-nauki.com/PDF/96PDMN617.pdf> (accessed 05.01.2021)
2. Ivanov N.M., Lysenko L.N. *Ballistics and navigation of spacecraft*. Moscow: Bauman Moscow State Technical University, 2016. 528 p.
3. Liferenko V.D., Legkov K.E., Gural D.A. Methodological approach to the mathematical description of the functioning of an information management network by distributed heterogeneous information and computing resources in the interests of a special purpose support and decision-making system. *Issues of defense technology. Series 16: Technical means of countering terrorism*. 2021. No. 1-2 (151-152). Pp. 84-90.
4. Legkov K.E., Burenin A.N. Models and methods of operational monitoring of information subsystems of promising automated control systems. *Information and space*. 2016. No. 4. Pp. 46-60.



5. Legkov K.E., Baboshin V.A., Nesterenko O.E. Models and methods of management of modern multiservice communication networks. *Equipment of means communications*. 2018. No. 2 (142). Pp. 181-182.
6. Legkov K.E. Models and methods of monitoring parameters characterizing the state of a special purpose infocommunication system. *T-Comm*. 2016. Vol. 10. No. 1. Pp. 11-18.
7. Burenin A.N., Legkov K.E. System approach to the formation of the structure of monitoring subsystems of automated control systems of infocommunications. *T-Comm*. 2016. Vol. 10. No. 8. Pp. 46-50.
8. Fedorenko D.S., Legkov K.E. Modeling of the reflection spectrum of a high-orbit artificial satellite of the Earth. *T-Comm*. 2020. Vol. 14. No. 11. Pp. 14-20.
9. Liferenko V.D., Legkov K.E., Kolesnik D.Y. Method for recognizing the type of space object in airspace based on the use of radar images. *2020 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, SYNCHROINFO 2020*. 2020. 9166055 p.
10. Liferenko V.D., Fedorenko D.S., Legkov K.E. Verification of the model forming the space object reflection spectrum based on normal-hemispheric reflection coefficients of reflection of materials and coatings. *2020 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems, WECONF 2020*. 2020. 9131551 p.
11. Aldokhina V.N., Kolesnik D.Y., Liferenko V.D., Legkov K.E. Model of recognition of cosmic objects based on informative signs obtained by radar means. *2020 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems, WECONF 2020*. 2020. 9131444 p.
12. Liferenko V.D., Legkov K.E., Gural D.A. Organization of effective functioning of the information subsystem of a network of distributed heterogeneous information and computing resources. *2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Conference Proceedings*. 2021. 9416101 p.
13. Aldokhina V.N., Fedorenko D.S., Liferenko V.D., Legkov K.E. Methodology for creating a reference reflection spectra database for space objects monitoring. *2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Conference Proceedings*. 2021. 9416097 p.
14. Gural D.A., Legkov K.E. A software package for modeling the processes of obtaining information from the means of tracking space objects. Certificate of registration of the computer program 2021680088, 07.12.2021. Application o. 202166973 dated 29.11.2021.
15. Gural D.A., Legkov K.E. Software package for modeling information subsystems of automated control systems for special purpose objects. Certificate of registration of the computer program 2021680877, 12/15/2021. Application No. 2021669953 dated 22.11.2021.
16. Aldokhina V.N., Kulikov S.V., Liferenko V.D., Chesnokov D.S. Virtual instrument for the study of the shape of the flight path depending on the values of the elements of the orbit. *Components and Technologies*. 2017. No. 2. Pp. 128-130.
17. Aldokhina V.N., Gudaev R.A., Smimov M.S., Shaimukhametov Sh.I. Model of the monitoring and control system of aerospace. *Proceedings of the Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky*. 2019. No. 668. Pp. 8-20.
18. Druk E.V., Legkov K.E., Levko L.V. The system approach to the organization of heterogeneous data storage system for decision support system. *2019 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, SYNCHROINFO 2019*. 2019. 8813930 p.
19. Basyrov A.G., Legkov K.E., Maksimov V.A. Model of onboard heterogeneous data storage system functioning with the consideration of different information importance. *2019 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, SYNCHROINFO 2019*. 2019. 8813922 p.
20. Legkov K.E., Burenin A.N. Evaluation of the state of modern information systems in the organization of stochastic control based on the kalman-bucy theory. *2019 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF 2019)*. 2019. 8840600 p.
21. Kaflanov R.I., Levko I.V., Legkov K.E. Selection and justification of parameters and characteristics of the functioning of the aggregate automated control system of complex organizational and technical system in the conditions of intensive impacts. *2019 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF 2019)*. 2019. 8840606 p.



К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ОПЕРАТИВНОСТИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ НА ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ ЗОНДИРОВАНИЯ ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

ГУРАЛЬ

Дмитрий Александрович

Московский технический университет связи
и информатики, г. Москва, Россия

Ключевые слова: имитационная модель, средства наблюдения за космическим пространством, космические объекты, искусственный спутник Земли, программно-аппаратный комплекс, оптические средства.

АННОТАЦИЯ

Введение: в данной статье предложена методика оценивания оперативности принятия решения на применение средств зондирования околоземного космического пространства на основе программной реализации имитационной модели получения измерений по космическим объектам в средней и дальней околоземной космической зоне средствами разведки космического пространства с применением программно-аппаратного комплекса сбора информации. **Постановка задачи:** разработка методики оценивания на основе имитационной модели обнаружения космических объектов на орбитах их движения наземными средствами наблюдения за космическим пространством, учитывающие различные варианты стохастического построения траекторий движения космических объектов и условий работы, технического состояния, географического размещения и численности оптических средств наблюдения. **Результаты:** разработана методика и имитационная модель программно-аппаратного комплекса сбора информации о космической обстановке, учитывающая различ-

ные варианты построения орбит наблюдаемых космических объектов и позволяющая динамически развивать моделируемую космическую обстановку, а так же моделировать изменения состояния средств наблюдения, учитывая изменения в их техническом состоянии, погодных условиях, суточного цикла и географического расположения. **Практическая значимость:** предложенная методика и имитационная модель позволяет рассчитать оптимальное количество необходимых средств наблюдения за космическим пространством и предпочтительные районы их размещения на основе оценки эффективности их функционирования при динамическом изменении состояний их функционирования. **Обсуждение:** новизна предложенной постановки задачи состоит в том, что структура разработанной методики и имитационной модели позволяет учитывать различные факторы влияющие на средства наблюдения и строить вероятностные оценки эффективности их функционирования на основе динамического изменения состояний функционирования средств наблюдения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бойкова А.В. Использование информационных технологий в образовательном процессе военного вуза // Интернет-журнал "Мир науки". 2017. Том 5, № 6.; URL: <https://mir-nauki.com/PDF/96PDMN617.pdf> (дата обращения 05.01.2021)
2. Иванов Н.М., Лысенко Л.Н. Баллистика и навигация космических аппаратов. М.: МГТУ имени Н.Э.Баумана, 2016. 528 с.
3. Лиференко В.Д., Легков К.Е., Гураль Д.А. Методический подход к математическому описанию функционирования информационно-управляющей сети распределенными гетерогенными информационно-вычислительными ресурсами в интересах системы поддержки и принятия решения специального назначения // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2021. № 1-2 (151-152). С. 84-90.
4. 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.
5. Легков К. Е., Бабошин В. А., Нестеренко О. Е. Модели и методы управления современными мультисервисными сетями связи // Техника средств связи. 2018. № 2 (142). С. 181-182.
6. Легков К. Е. Модели и методы мониторинга параметров, характеризующих состояние инфокоммуникационной системы специального назначения // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2016. Т. 10. № 1. С. 11-18.

7. Буренин А. Н., Легков К. Е. Системный подход к формированию структуры подсистем мониторинга автоматизированных систем управления инфокоммуникациями // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2016. Т. 10. № 8. С. 46-50.
8. Федоренко Д.С., Легков К.Е. Моделирование спектра отражения высокоорбитального искусственного спутника Земли // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Т. 14. № 11. С. 14-20.
9. Liferenko V.D., Legkov K.E., Kolesnik D.Y. Method for recognizing the type of space object in airspace based on the use of radar images // В сборнике: 2020 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, SYNCHROINFO 2020. 2020. С. 9166055.
10. Liferenko V.D., Fedorenko D.S., Legkov K.E. Verification of the model forming the space object reflection spectrum based on normal-hemispheric reflection coefficients of reflection of materials and coatings // В сборнике: 2020 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems, WECONF 2020. 2020. С. 9131551.
11. Aldokhina V.N., Kolesnik D.Y., Liferenko V.D., Legkov K.E. Model of recognition of cosmic objects based on informative signs obtained by radar means // В сборнике: 2020 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems, WECONF 2020. 2020. С. 9131444.
12. Liferenko V.D., Legkov K.E., Gural D.A. Organization of effective functioning of the information subsystem of a network of distrib-



uted heterogeneous information and computing resources // В сборнике: 2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Conference Proceedings. 2021. С. 9416101.

13. *Aldohina V.N., Fedorenko D.S., Liferenko V.D., Legkov K.E.* Methodology for creating a reference reflection spectra database for space objects monitoring // В сборнике: 2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Conference Proceedings. 2021. С. 9416097.

14. *Гураль Д.А., Легков К.Е.* Программный комплекс моделирования процессов получения информации от средств сопровождения космических объектов. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021680088, 07.12.2021. Заявка № 2021669737 от 29.11.2021.

15. *Гураль Д.А., Легков К.Е.* Программный комплекс моделирования информационных подсистем автоматизированных систем управления объектами специального назначения. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021680877, 15.12.2021. Заявка № 2021669953 от 22.11.2021.

16. *Алдохина В.Н., Куликов С.В., Лиференко В.Д., Чесноков Д.С.* Виртуальный прибор для исследования формы трассы полета КО от значений элементов орбиты // Компоненты и технологии. 2017. № 2. С. 128-130.

17. *Алдохина В.Н., Гудаев Р.А., Смирнов М.С., Шаймухаметов Ш.И.* Модель системы мониторинга и контроля воздушно-

космического пространства // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2019. № 668. С. 8-20.

18. *Druk E.V., Legkov K.E., Levko L.V.* The system approach to the organization of heterogeneous data storage system for decision support system // В сборнике: 2019 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, SYNCHROINFO 2019. 2019. С. 8813930.

19. *Basyrov A.G., Legkov K.E., Maksimov V.A.* Model of onboard heterogeneous data storage system functioning with the consideration of different information importance // В сборнике: 2019 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, SYNCHROINFO 2019. 2019. С. 8813922.

20. *Legkov K.E., Burenin A.N.* Evaluation of the state of modern information systems in the organization of stochastic control based on the kalman-bucy theory // В сборнике: 2019 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF 2019). 2019. С. 8840600.

21. *Kafanov R.I., Levko I.V., Legkov K.E.* Selection and justification of parameters and characteristic of the functioning of the aggregative automated control system of complex organizational and technical system in the conditions of intensive impacts // В сборнике: 2019 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF 2019). 2019. С. 8840606.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Гураль Дмитрий Александрович, соискатель ученой степени кандидата наук, Московский технический университет связи и информатики, г. Москва, Россия, gural@mail.ru

For citation: *Гураль Д.А.* К вопросу повышения оперативности принятия решения на применение средств зондирования околоземного космического пространства // H&ES Reserch. 2022. Vol. 14. No. 1. P. 59-68. doi: 10.36724/2409-5419-2022-14-1-59-68 (In Rus)



#SpaceCom Digital Russia 2022: главное о цифровой трансформации индустрии спутниковых коммуникаций

16 февраля в Москве прошла ежегодная конференция #SpaceCom Digital Russia 2022. Индустрия спутниковых коммуникаций в эпоху цифровой трансформации. Событие традиционно собрало экспертов в области спутниковых коммуникаций. Визионеры отрасли проанализировали причины и следствия бума на рынке низкоорбитальных систем, обсудили перспективы окупаемости этих проектов и обозначили основные тренды, которые определяют вектор развития индустрии в ближайшие годы. Из-за санитарных требований доступ на площадку мероприятия был частично ограничен, но более 150 зрителей следили за выступлениями онлайн.

Последние несколько лет на рынке спутниковой связи один за другим запускаются дорогостоящие проекты создания низкоорбитальных систем, которые способны обеспечить практически весь спектр космических сервисов: высокоскоростную передачу данных, подвижный ШПД, персональную связь, IoT/M2M, дистанционное зондирование и многое другое. В рамках открывшего программу конференции Public talk **Валентин Анпилов**, заместитель генерального директора "Висат-Тел", поделился мнением о причинах настоящего бума низкоорбитальных группировок. Он напомнил, что с 2015 года рынок спутниковой связи вступил в период стагнации. Этот временный застой подтолкнул операторов к тому, чтобы искать новые точки роста. По его мнению, именно этот тренд спровоцировал появление многочисленных проектов спутникового широкополосного доступа с аппаратов на низкой околоземной орбите.

Глава представительства и региональный директор в России и СНГ компании Hughes Network Systems **Константин Ланин** в качестве катализатора развития таких систем назвал взрывной рост трафика во всем мире. "В 2016 мы вступили в век зеттабайтов – тогда всемирный трафик через IP-протокол Cisco оценивало в 1,2 зеттабайта. К 2021 году он приблизился к отметке в 3 зеттабайта".

Появление все новых низкоорбитальных проектов с миллиардными инвестициями вызывает закономерный вопрос – когда ждать возврата денег инвесторов? В ходе обсуждения трендов развития сегмента этот вопрос не нашел однозначного ответа. Сроки окупаемости низкоорбитальных систем пока что трудно поддаются прогнозам, а необходимость в постоянном дополнительном финансировании на расширение группировок и обновление спутникового флота из-за сравнительно небольшого срока службы "низколетов" (всего 5-7 лет) отодвигают выход на операционную прибыль на десятилетия. Дополнительную сложность создает отсутствие дешевых абонентских терминалов, вынуждающее операторов субсидировать их приобретение клиентами. К тому же компании-маркетмейкеры придерживаются различных бизнес-моделей, и какая из них окажется жизнеспособной эксперты пока не берутся судить. Участники дискуссии сошлись во мнении, что пока несколько преждевременно говорить о коммерциализации низкоорбитальных систем, согласившись, при этом, что развитие в этой области позволит всей спутниковой индустрии существенно повысить технологический уровень.

Продолжил программу конференции **круглый стол "Спутниковые новеллы"**: что изменил 2021 год в развитии спутниковых коммуникаций в РФ и чего ждать от 2022 года".

Дискуссия экспертов спутниковых коммуникаций на базе различных технологий позволила выделить основные тренды. Спикеры пришли к выводу, что в период бурного роста низкоорбитальных систем рано списывать со счетов геостационарные спутники, у них по-прежнему есть пространство для технологического развития и широкие рыночные перспективы. По мнению большинства экспертов рынка, будущее за бесшовными технологиями, которые обеспечивают максимально комфортный пользовательский опыт для конечных потребителей за счет интеграции программно-



определяемых сетей, поддерживаемых различными спутниковыми системами. В это же время рынок B2B открывает перед низкоорбитальными системами огромное количество пока не занятых и перспективных с коммерческой точки зрения ниш, особенно в сфере мониторинга данных.

Владислав Иваненко, генеральный директор компании "Спутникс", выделил в качестве основных клиентских рынков, формирующих спрос на спутниковые сервисы, добывающую индустрию, страховую и банковскую сферы, транспортные компании, беспилотное судовождение, железные дороги. Крайне востребованными спутниковые цифровые сервисы могут оказаться у инфраструктурных компаний, заинтересованных в надежной работе линий электропередач, трубопроводов, логистических цепочек.

Андрей Гриценко, генеральный директор ИКЦ "Северная корона" напомнил о том, что до сих пор пассажиры поездов оказываются лишенными ШПД во время путешествия. Покрытие мобильных операторов составляет лишь 20% от протяженности железных дорог на самых оживленных пассажирских маршрутах, включая даже такие загруженные, как Москва – Санкт-Петербург. На его взгляд это также дает хорошие перспективы для развития спутниковых систем, обеспечивающих пассажиров ШПД-подключением.

Руководитель направления "Спутниковый интернет" Триколора **Даниил Нирман** обратил внимание на значительный рост пользователей спутникового интернета в РФ за счет дачников. В этой связи Триколор считает необходимым повышать информированность пользователей собственной экосистемы о возможностях спутникового интернета, поскольку до сих пор люди плохо знакомы с VSAT-технологиями.

Продолжая разговор об основных трендах, **Павел Черенков**, генеральный директор спутниковой системы "Гонец" выразил мнение, что в 2022 году будет определена концепция развития спутниковых коммуникаций для РФ.

Сергей Пехтерев, акционер "Ка-Интернет", привлек внимание аудитории опытом тестирования системы Starlink компании SpaceX Илона Маска. "Starlink – крайне интересная система, но на данный момент она четко соответствует обещаниям Илона Маска, который сказал, что это лучше, чем ничего. Существуют технические проблемы, которые надо решить, чтобы обеспечить сервисы хотя бы на том уровне, на каком обеспечивают их геостационары. Технологически система работает, но она требует огромных инвестиций" – рассказал он.

Завершилась конференция в неформальной обстановке. Участники сыграли в интеллектуальную игру #SpaceQuiz на тему "Как добиться космического успеха вместе". Победители соревнования получили в подарок от Триколора подписку на "Единый Ultra" – пакет каналов в формате высокой четкости Full HD и сверхвысокой четкости Ultra HD, а также тысячи фильмов и сериалов в онлайн-сервисе оператора.

Организаторы: TMT Conference совместно с "Телеспутник" и IAA TelecomDaily

Генеральный партнер: "Триколор"

Ключевой партнер: Hughes Network Systems

Партнер: ИКЦ "Северная Корона"



www.glonass-forum.ru



НАВИТЕХ

www.navitech-expo.ru



РОСКОСМОС

Конгресс

СФЕРА

26
апреля

2022

ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»



www.glonass-forum.ru

12+

Организатор
форума



Генеральный партнер
форума



Экспертные партнеры
форума



Организатор экспозиции
«Навитех-2022»/спонсор форума



Оператор форума





Конгресс "Сфера"

Уважаемые коллеги!

XV Международный навигационный форум приглашает вас принять участие в Конгрессе "Сфера", который состоится в рамках Форума при поддержке Госкорпорации "Роскосмос".

Конгресс проводится во второй раз. Как и в прошлом году, он объединит мероприятия, посвященные реализации федерального проекта "Комплексное развитие космических информационных технологий "Сфера", развитию отечественных систем спутниковой навигации, спутниковой связи с глобальным покрытием и дистанционного зондирования Земли.

"Сфера" – это федеральный проект, направленный на развитие космических информационных технологий и ликвидацию так называемого "цифрового неравенства".

"Это ещё одно направление, где мы можем осуществить прорыв, потому что качество связи будет такое, что сможет, по сути, заменить кабельную связь и по качеству и охвату всей территории будет не хуже, но должна быть дешевле и доступнее, – говорил Президент России В.В. Путин, запуская проект четыре года назад. – Это в целом может привести к абсолютной революции в сфере связи".

Проект в этом году набирает ускорение. Определены исполнители по приоритетным работам проекта, получено финансирование, начаты первые работы по созданию многоспутниковой орбитальной группировки. Уже в этом году будет запущен демонстрационный космический аппарат для отработки основных технических решений и защиты орбитально-частотного ресурса. Система "Скиф" будет предоставлять услуги широкополосного доступа в интернет в малонаселенных пунктах с неразвитой наземной инфраструктурой. Также с их помощью будет решена задача обеспечения связью Северного морского пути.

"Такую гигантскую страну можно связать только через космос", – сказал Дмитрий Rogozin, генеральный директор Государственной корпорации по космической деятельности "Роскосмос", выступая с презентацией на "Королёвских чтениях" в МГТУ имени Н.Э.Баумана в январе этого года.

Проект "Сфера" призван способствовать ускорению технологического развития Российской Федерации, созданию экспортно-ориентированного сектора в базовых отраслях экономики. Благодаря проекту будет создана самая современная система коммуникаций и мониторинга, включающая как существующую, так и перспективную космическую инфраструктуру. Кроме того, в рамках проекта "Сфера" будет создана система экологического мониторинга, к сотрудничеству с которой Роскосмос активно призывает международные организации.

"Главная задача проекта – улучшение качества жизни и безопасности людей", – заявил первый заместитель генерального директора по развитию орбитальной группировки и перспективным проектам Госкорпорации "Роскосмос" Юрий Урличич на прошлогоднем Конгрессе. Не менее

главная, основополагающая задача "Сферы" – устойчивое развитие России в условиях высококонкурентного мирового рынка цифры.

XV Международный навигационный форум – центральное событие этого года в Российской Федерации и странах ЕАЭС в области коммерческого использования спутниковых навигационных технологий, перспективная платформа для диалога российских и зарубежных экспертов, представителями бизнеса и разработчиками, а также эффективная возможность демонстрации собственных достижений. Ключевые игроки рынка навигационных и смежных технологий представят свои разработки и решения для транспортной логистики, страхового телематики, торговли и промышленности, строительства, сельского хозяйства и геодезии. Будут обсуждаться вопросы применения технологий ГЛОНАСС/ГНСС для беспилотного и подключенного транспорта, "умных" городов и "умной" городской мобильности, контроля над Арктикой и других инновационных направлений. На Форуме планируется проведение дискуссий по вопросам развития частной космонавтики, приоритетам государственной политики и государственно-частного партнёрства в космической отрасли.

В работе Форума примут участие более семидесяти докладчиков-экспертов и порядка тысячи делегатов из четырёхсот компаний и предприятий. Участники получают возможность вступить в прямой диалог с представителями государственных и бизнес-структур, а также научного сообщества по вопросам развития отечественной и зарубежной навигации.

"Сфера" – мощный драйвер роста качества космических услуг, технологий, систем и продуктов в России, и Навигационный форум предоставляет участникам возможность наглядно узнать перспективы развития отрасли.

"Мы хотим, чтобы уверенность в будущем вернулась в нашу отрасль в целом", – заявил генеральный директор Госкорпорации "Роскосмос" Дмитрий Rogozin.

Помимо докладов и дискуссионных мероприятий, на Форуме состоится торжественная церемония вручения ежегодной премии Ассоциации "ГЛОНАСС/ГНСС-Форум" в области навигации.

Организатор Навигационного форума: Ассоциация "ГЛОНАСС/ГНСС-Форум".

Генеральный партнер Форума: Государственная корпорация по космической деятельности "Роскосмос".

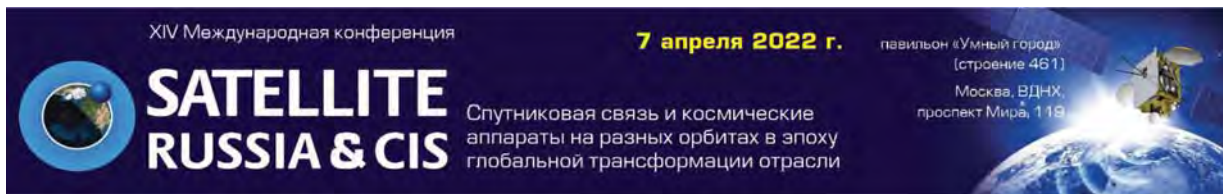
Стратегические партнеры Форума: НП "ГЛОНАСС" и НТИ "Автонет".

Оператор Форума: агентство "ПрофКонференции".

Организатор экспозиции "Навитех-2022": АО "Экспоцентр" при поддержке Минпромторга России.

Выставка проводится под патронатом Торгово-промышленной палаты Российской Федерации.

Более подробная информация – на сайтах: <http://www.glonass-forum.ru/> и <https://www.navitech-expo.ru/>.



Уважаемые дамы и господа!

COMNEWS приглашает Вас и Ваших коллег принять участие в XIV Международной конференции "Satellite Russia & CIS: спутниковая связь и космические аппараты на разных орбитах в эпоху глобальной трансформации отрасли".

Дата и место проведения: 7 апреля 2022 года, в павильоне "Умный город", (г. Москва, ВДНХ, проспект Мира 119, строение 461)

Сайт мероприятия: <https://www.comnews-conferences.ru/ru/conference/satellite2022>

Мы заботимся о здоровье участников и хотим обеспечить возможность выступления для представителей отрасли из разных стран мира, поэтому в 2022 году конференция состоится в формате phygital – то есть одновременно и в физическом, и в онлайн-режиме.

Конференция SATELLITE RUSSIA & CIS – это единственное в России независимое мероприятие по темам спутниковой связи и вещания, а также производства ракетно-космической техники и пусковых услуг. На SATELLITE RUSSIA & CIS ежегодно присутствуют представители всех конкурирующих компаний из каждой ниши рынка: от разработки, производства, запуска космических аппаратов до услуг фиксированной / мобильной спутниковой связи и дистанционного зондирования Земли.

Satellite Russia & CIS 2022 – это:

- Главная ежегодная площадка для обсуждения "горячих" тем и обмена опытом между российскими и зарубежными игроками рынка спутниковой связи;
- Открытый диалог между партнерами о текущих и перспективных проектах в России и СНГ;
- Демонстрация новейших решений и технологий для обеспечения развития бизнеса;
- Более 200 участников и 30 экспертных выступлений: панельная дискуссия, практические доклады, круглые столы и дебаты
- Места для встреч и переговоров: отличные возможности для делового общения и новых контактов
- Нетворкинг, инсайты;
- Репортажи с зоны выставки
- Поддержка ведущих отраслевых ассоциаций и объединений участников рынка.

Программа конференции SATELLITE RUSSIA & CIS 2022 охватывает все аспекты и сектора рынка спутниковой связи и вещания – от предоставления услуг связи, вещания и ДЗЗ до производства космических аппаратов и наземного оборудования, пусковых услуг и коммерциализации космической деятельности.

Ключевые темы Satellite Russia & CIS 2022:

- Национальное производство космических аппаратов, ракет-носителей и приборов/узлов/модулей для них
- Импортзамещение в спутниковой связи
- АИТ-центр как главная площадка для тестирования спутников
- Финансирование космических программ: кредитование, страхование, юридические аспекты
- Государственно-частного партнерства в космической отрасли
- Спутниковая связь в социально и политически значимых регионах России
- Перспективы применения российских спутников связи для связи на Северном морском пути
- Технологии спутниковой связи для безэкипажного судовождения
- Частные инвестиции в космос: системы спутниковой связи на низких орбитах, новые средства выведения
- Новые возможности рынка спутниковой связи и встраивание в экосистему 5G
- Корпоративные сети на основе спутниковых каналов связи
- Развитие негеостационарных спутниковых систем и место спутниковых технологий на рынке IoT
- Изменения на рынке производства наземного оборудования спутниковой связи.
- Космические технологии в борьбе за экологию
- "Синдром Кесслера": проблема космического мусора уже сегодня

В конференции SATELLITE RUSSIA & CIS 2022 примут участие представители регулирующих органов, руководители российских и зарубежных операторов спутниковой связи, телерадиокомпаний и операторов вещательных сетей, разработчиков / производителей спутников и космического оборудования, провайдеров пусковых услуг, финансовых и страховых компаний, участники рынка New Space, консультанты, отраслевые и деловые СМИ, профильные представители корпоративных потребителей услуг спутниковой связи.

Ждем Вас на конференции Satellite Russia & CIS 7 апреля!

С уважением, оргкомитет конференции
Email: conf@comnews.ru

Продюсер конференции – Анна Кочура, e-mail: ak@comnews.ru.

По вопросам спонсорского участия, пожалуйста, обращайтесь к Ирине Глуховой, директор по развитию бизнеса ComNews: irina@comnews.ru

По вопросам делегатского участия, пожалуйста, обращайтесь к Ольге Доленко, руководителю отдела делегатских продаж ComNews: od@comnews.ru