

АСТРАХАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ПРИКАСПИЙСКИЙ ЖУРНАЛ: управление и высокие технологии

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

2021

№ 4 (56)

Журнал включен в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК России для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по следующим научным специальностям.

Группа специальностей 05.11.00 «Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы»:

- 05.11.01 – Приборы и методы измерения (по видам измерений) (технические науки);
- 05.11.16 – Информационно-измерительные и управляющие системы (по отраслям) (технические науки);
- 05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского назначения (технические науки).

Группа специальностей 05.13.00 «Информатика, вычислительная техника и управление»:

- 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям) (технические науки);
- 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления (технические науки);
- 05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах (технические науки);
- 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей (технические науки);
- 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки);
- 05.13.19 – Методы и системы защиты информации, информационная безопасность (технические науки).

Журнал входит в базу данных Ulrich's Periodicals Directory.

Астрахань

Издательский дом «Астраханский университет»

2021

Рекомендовано к печати редакционно-издательским советом
Астраханского государственного университета

ПРИКАСПИЙСКИЙ ЖУРНАЛ:
управление и высокие технологии

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

2021
№ 4 (56)

Редакционная коллегия

И.М. Ажмухамедов, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационная безопасность» Астраханского государственного университета (*главный редактор*)

И.В. Аникин, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Системы информационной безопасности» Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ

А.А. Большаков, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Системы автоматизированного проектирования и управления» Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)

Ж.И. Батырканов, доктор технических наук, профессор, профессор Кыргызского государственного технического университета им. И. Разакова (Кыргызская Республика, г. Бишкек)

С.Н. Гончаренко, доктор технических наук, профессор, профессор Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» (г. Москва)

Л.А. Демидова, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Вычислительной и прикладной математики» Рязанского государственного радиотехнического университета (г. Рязань)

И.Ю. Квятковская, доктор технических наук, профессор, директор Института информационных технологий и коммуникаций Астраханского государственного технического университета

А.Г. Кравец, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Системы автоматизированного проектирования и поискового конструирования» Волгоградского государственного технического университета

В.Ю. Кузнецова, ассистент кафедры информационной безопасности Астраханского государственного университета (*ответственный секретарь*)

Ю.В. Литовка, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Системы автоматизированной поддержки принятия решений» Тамбовского государственного технического университета

А.М. Лихтер, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Общая физика» Астраханского государственного университета

А.А. Лобатый, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные системы и технологии» Белорусского национального технического университета (Республика Беларусь, г. Минск)

В.В. Морозов, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология машиностроения» Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых (г. Владимир)

Е.В. Никульчев, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Управление и моделирование систем» Московского технологического университета (МИРЭА) (г. Москва)

В.О. Осипян, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры «Информационные технологии» Кубанского государственного университета (г. Краснодар)

И.Ю. Петрова, доктор технических наук, профессор, первый проректор Астраханского государственного архитектурно-строительного университета, заведующая кафедрой САПР Астраханского государственного архитектурно-строительного университета

А.В. Рыбаков, кандидат физико-математических наук, директор «Физико-математического института» Астраханского государственного университета; доцент кафедры электротехники, электроники и автоматизации Астраханского государственного университета

А.В. Скрипаль, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Медицинская физика» Саратовского национального исследовательского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского

И.Б. Старченко, доктор технических наук, профессор, ООО «Параметрика», научный руководитель (г. Таганрог Ростовской области)

Ю.Ю. Тарасевич, доктор физико-математических наук, профессор, профессор Астраханского государственного университета, заведующий лабораторией «Математическое моделирование и информационные технологии в науке и образовании»

Т.Л. Тен, доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Информационно-вычислительные системы» Карагандинского экономического университета (Республика Казахстан, г. Караганда)

Е.Н. Тищенко, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные технологии и защита информации» Ростовского государственного экономического университета (РИНХ) – г. Ростов-на-Дону

М.А. Ураксеев, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Информационно-измерительная техника» Уфимского государственного авиационного технического университета

С.А. Филит, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Биомедицинская инженерия» Юго-Западного государственного университета (г. Курск)

Л.Р. Филонова, доктор технических наук, профессор, декан факультета Вычислительной техники, заведующая кафедрой «Информационное обеспечение управления и производства» Пензенского государственного университета

В.А. Цимбал, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Автоматизированные системы управления» (Филиал Военной академии РВСН им. Петра Великого МО в г. Серпухов Московской области)

Н.К. Юрков, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Конструирование и производство радиоаппаратуры» Пензенского государственного университета

N.A. Kolesova, PhD, Check Point Software Technologies LTD, Tel-Aviv, Israel

Serg Miranda, PhD (Toulouse University, France), – Master thesis at UCLA (University of California, Los Angeles with an INRIA Scholarship), Professor of Computer Science, University of Nice – Sophia Antipolis (Nice, France), Director of the CS dept. and MBDS innovation lab (www.mbd-fr.org)

Журнал выходит 4 раза в год
Все материалы, поступающие в редколлегию журнала,
проходят независимое рецензирование

© Астраханский государственный университет,
Издательский дом «Астраханский университет», 2021
© Гайфитдинова С. Ю., дизайн обложки, 2021

ASTRAKHAN STATE UNIVERSITY

**PRIKASPIYSKIY ZHURNAL:
Upravlenie i Vysokie Tekhnologii**

**CASPIAN JOURNAL:
Control and High Technologies**

A SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

**2021
No. 4 (56)**

The journal is included in the list of the reviewed scientific journals recommended by VAK of Russia for the publication of the main scientific results of theses for the candidate of science degree, for the doctor of science degree on the following scientific specialties.

Group of specialties 05.11.00 “Instrument engineering, measurement science, information and measuring devices and systems”:

05.11.01 – Instruments and measurement methods (by measurement types) (technical sciences);

05.11.16 – Information-measuring and control systems (by branches) (technical sciences);

05.11.17 – Medical instruments, systems and items (technical sciences).

Group of specialties 05.13.00 “Informatics, computer technique and control”:

05.13.01 – System analysis, information control and processing (by branches) (technical sciences);

05.13.05 – Components and devices of computational tools and control systems (technical sciences);

05.13.10 – Management in social and economic systems (technical sciences);

05.13.11 – Mathematical software and software for computing machines, computer systems and networks (technical sciences);

05.13.18 – Mathematical modelling, numerical methods and complexes of programmes (technical sciences);

05.13.19 – Information security methods and systems, information security (technical sciences).

The journal is included into the database Ulrich’s Periodicals Directory.

Astrakhan
Publishing House “Astrakhan University”
2021

Recommended by the Editorial and Publishing Board
of Astrakhan State University

**CASPIAN JOURNAL:
Control and High Technologies**

A SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

**2021
No. 4 (56)**

Editorial Board

I.M. Azhmukhamedov, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Head of Information Security Department, Astrakhan State University (Editor-in-Chief)

I.V. Anikin, Doct. Sci. (Engineering), Associate Professor, Head of Information Security System Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI»

A.A. Bolshakov, Doct. Sci. (Engineering), Professor of «Systems of Automated Design Engineering and Control» department, St. Petersburg State Technological Institute (Technical University)

Zh.I. Batyrkanov, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Kyrgyz State Technical University named after I. Razza-kov (Kyrgyz Republic, Bishkek)

S.N. Goncharenko, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the National University of Science and Technology «MISIS» (Moscow)

L.A. Demidova, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Computational and Applied Mathematics Department, Ryazan State Radio Engineering University (Ryazan)

I.Yu. Kvyatkovskaya, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Head of “Information Technologies and Communications” Institute of the Astrakhan State Technical University

A.G. Kravets, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Automated Design Engineering Systems and Search Constructing Department, Volgograd State Technical University

V.Yu. Kuznetsova, assistant of Information Security Department, Astrakhan State University (Executive Editor)

Yu.V. Litovka, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Department of Automated Support System for Decision-Making, Tambov State Technical University

A.M. Likhter, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Head of the Department of General Physics, Astrakhan State University

A.A. Lobaty, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Head of Information Systems and Technologies Department, Belarusian National Technical University (Belarus, Minsk)

V.V. Morozov, Honored Worker of Science of the Russian Federation, Doct. Sci. (Engineering), Professor of the Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov (Vladimir)

E.V. Nikulchev, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the System Management and Modeling Department, Moscow Technological University (Moscow)

V.O. Osipyan, Doct. Sci. (Physics and Mathematics), Professor of the Kuban State University (Krasnodar)

I.Yu. Petrova, Doct. Sci. (Engineering), Professor, First Vice-Rector of the Astrakhan State Architectural and Construction University, Head of the CAD department of Astrakhan State Architectural and Construction University

A.V. Rybakov, Cand. Sci. (Physics and Mathematics), Director of the Institute of Physics and Mathematics, Astrakhan State University

A.V. Skripal, Doct. Sci. (Physics and Mathematics), Professor, Head of Medical Physics Department of the Saratov national research State University named after N.G. Chernyshevsky

I.B. Starchenko, Doct. Sci. (Engineering), Professor, OOO «Parametrica» (Taganrog, Rostov Oblast), Research Supervisor

Yu.Yu. Tarasevich, Doct. Sci. (Physics and Mathematics), Professor, Professor of the Astrakhan State University, head of the laboratory «Mathematical modeling and information technologies in science and education»

T.L. Ten, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Karaganda Economic University (Republic of Kazakhstan, Karaganda)

E.N. Tishchenko, Doct. Sci. (Economics), Professor, Head of the Information Technologies & Information Security Department, Rostov State University of Economics, Rostov-on-Don

M.A. Urakseev, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Information and Measuring Equipment department of Ufa State Aviation Technical University

S.A. Filist, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of Biomedial Engineering Department, Southwest State University (Kursk)

L.R. Fionova, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Dean of the Computer Technology Faculty, Head of the Department «Information Support of Management and Production, Penza State University

V.A. Tsimbal, Doct. Sci. (Engineering), Honored Worker of Science of the Russian Federation, Professor, Professor of the Automated Control Systems Department (Branch of the Military Academy of the Russian Strategic Missile Forces named after Peter the Great of the Moscow Oblast, Serpukhov, Moscow Oblast)

N.K. Yurkov, Honored worker of science of the Russian Federation, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Head of the department «Designing and production of the radio equipment», Penza State University

N.A. Kolesova, PhD, Check Point Software Technologies LTD, Tel-Aviv, Israel

Serg Miranda, PhD (Toulouse University, France), – Master thesis at UCLA (University of California, Los Angeles with an INRIA Scholarship), Professor of Computer Science dept., University of Nice – Sophia Antipolis (Nice, France), Director of the CS department and MBDS innovation lab (www.mbd-s-fr.org)

The journal is published four times a year
All materials that come to the Editorial Board of the journal
are subject to independent peer-review

© Astrakhan State University,
Publishing House “Astrakhan University”, 2021
© S. Yu. Gayfitdinova, cover design, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

А. А. Kulik

Development of an algorithm for predicting
an emergency situation on board an aircraft 9–17

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

И. О. Бондарева, А. А. Ханова

Многоуровневое управление организационными системами
на основе моделирования и каскадирования рисков18–26

А. Ю. Миронов, А. Ю. Миронова, В. Г. Бурлов

Превентивное управление производством
по делам об административных правонарушениях
при конфликте сторон и дефиците ресурсов27–40

П. В. Попов, А. Г. Кравец, С. В. Прокопов

Разработка модели системы управления
макро-логистической инфраструктурой региона41–47

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

***Р. Х. Багдасарян, В. О. Осипян, К. И. Литвинов,
А. Е. Сергеев, Е. И. Шокола***

О технологии распределенной передачи данных и проблемах
проверки достоверности информации по каналу связи.....48–57

Е. А. Кулешова

Вариант реализации схемы преобразования входного потока данных
асимметричным методом на базе клеточных автоматов57–65

Д. К. Рассохин, Е. П. Лукащук

Двухфакторная биометрическая система аутентификации66–74

Е. А. Максимова

Оценка инфраструктурной целостности субъекта
критической информационной инфраструктуры
при деструктивных воздействиях75–86

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

А. А. Маслиев, А. В. Горин, И. Ф. Хисматов

Методика выбора порога чувствительности регистратора
лазерного пятна подсвета от авиационных прицельных систем
при планировании летных экспериментов87–97

Н. В. Тихомиров, А. А. Маслиев

Применение принципов и механизмов системы лидар
в прицельно-навигационном комплексе98–105

**Д. С. Соловьев, И. А. Соловьева,
В. В. Хлебников, А. В. Самохвалов**

Численное моделирование погружения и всплытия подводных
аппаратов с учетом их конфигурации (на примере подводных лодок) 105–114

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ 115

CONTENTS

INFORMATICS, COMPUTER TECHNIQUE AND CONTROL

SYSTEM ANALYSIS, CONTROL AND INFORMATION PROCESSING

A. A. Kulik

Development of an algorithm for predicting
an emergency situation on board an aircraft 9–17

MANAGEMENT IN SOCIAL AND ECONOMIC SYSTEMS

I. O. Bondareva, A. A. Khanova

Multi-level management of organizational systems
on the basis of modeling and cascading18–26

A. Yu. Mironov, A. Yu. Mironova, V. G. Burlov

Preventive management in production
on affairs about administrative offenses
when parties conflict and resources deficiency27–40

P. V. Popov, A. G. Kravets, S. V. Prokopov

Development of a model of a management system
for macro-logistic infrastructure of the region41–47

INFORMATION SAFETY AND INFORMATION PROTECTION

**R. Kh. Bagdasaryan, V. O. Osipyan, K. I. Litvinov,
A. E. Sergeev, E. I. Shokola**

About the technology of distributed data transmission
and the problems of verifying the reliability of information
over a communication channel.....48–57

E. A. Kuleshova

A variant of implementation of the scheme for conversion of the input data flow
by the asymmetric method on the basis of cellular automata.....57–65

D. K. Rassokhin, E. P. Lukashchik

Two-factor biometric authentication system.....66–74

E. A. Maksimova

Assessment of the infrastructural integrity
of the subject of critical information infrastructure
under destructive influences.....75–86

INSTRUMENT ENGINEERING, MEASUREMENT SCIENCE, INFORMATION AND MEASURING DEVICES AND SYSTEMS

INFORMATION-MEASURING AND CONTROL SYSTEMS

A. A. Masliev, A. V. Gorin, I. F. Khismatov

Methodology for selecting the sensitivity threshold
of the laser spot illumination recorder from aviation
sighting systems when planning flight experiments.....87–97

N. V. Tikhomirov, A. A. Masliev

Application of the principles and mechanisms of the lidar system
in sighting and navigation system.....98–105

D. S. Solovjev, I. A. Solovjeva,

V. V. Khlebnikov, A. V. Samokhvalov

Numerical simulation of immersion and ascent processes
for underwater vehicles taking into account their configuration
(on the example of submarines)..... 105–114

RULES FOR THE AUTHORS115

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

DOI 10.21672/2074-1707.2021.56.4.009-017
УДК 681.5

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR PREDICTING AN EMERGENCY SITUATION ON BOARD AN AIRCRAFT

The article was received by the editorial board on 15.10.2021, in the final version – 27.10.2021.

Kulik Aleksey A., Bauman Moscow State Technical University, 5/1 ul. Baumanskaya 2-ya, Moscow, 105005, Russian Federation,

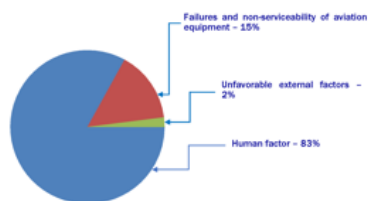
Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4099-1641>, e-mail: kulikalekse@yandex.ru

An algorithm for predicting an emergency situation on board an aircraft is proposed. Its principle of operation is aimed at determining the values that characterize the change in variables that affect the safety of air flight of an aircraft. This information is used to evaluate the predicted air flight conditions of an aircraft. The advantage of the proposed algorithm is to increase the effectiveness of threat identification. In addition, the degree of influence of the identified incident during the air flight of an aircraft is determined. For this purpose, the variation of the variables under consideration is predicted, which determine the degree of safety of an aircraft's air flight. The paper presents the results of modeling the operation of an algorithm for predicting an emergency situation of an aircraft flight when changing the flight of an aircraft under difficult initial conditions. The modeling took into account the change in the psychophysical state of the crew and the technical condition of the control object. The proposed algorithm makes it possible, based on forecasting, to identify the threat of an air accident, as well as to parry it based on the appropriate actions of the crew, as well as the aircraft's automatic control system. For implementation, it is advisable to use the appropriate software and hardware complexes that are part of the onboard equipment of an aircraft.

Keywords: flight safety control system, aircraft, decision support device, emergency forecasting

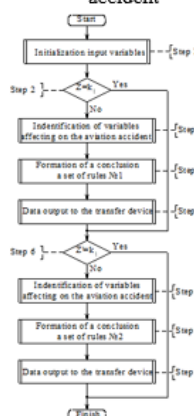
Graphical annotation (Графическая аннотация)

Improving the safety of aircraft flight is a national economic problem



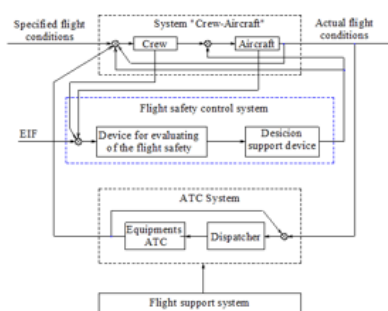
Повышение безопасности полетов воздушных судов является национальной экономической проблемой

Block diagram of decision support algorithm for parrying the threat of aviation accident



Структурная схема алгоритма поддержки принятия решений для парирования угрозы авиационного происшествия

Intelligent aviation system



Интеллектуальная авиационная система

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ НА БОРТУ ВОЗДУШНОГО СУДНА

Статья поступила в редакцию 15.10.2021, в окончательном варианте – 27.10.2021.

Кулик Алексей Анатольевич, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 105005, Российская Федерация, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, кандидат технических наук, доцент, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4099-1641>, e-mail: kulikalekse@yandex.ru

Предложен алгоритм прогнозирования аварийной ситуации на борту воздушного судна. Его принцип действия направлен на определение значений, которые характеризуют изменение переменных, влияющих на обеспечение безопасности воздушного полета авиационного судна. Эта информация используется для оценки прогнозируемых условий воздушного полета авиационного судна. Достоинство предлагаемого алгоритма заключается в увеличении результативности при идентификации угрозы. Кроме этого, определяется степень влияния идентифицированного происшествия при воздушном полете авиационного судна. Для этого осуществляется прогнозирование варьирования рассматриваемых переменных, которые определяют степень безопасности воздушного полета авиационного судна. В работе представлены результаты моделирования работы алгоритма прогнозирования аварийной ситуации полета воздушного судна при изменении полета авиационного судна при сложных начальных условиях. При моделировании учитывалось изменение психофизического состояния экипажа и техническое состояние объекта управления. Предложенный алгоритм позволяет на основе прогнозирования осуществлять идентификацию угрозы воздушного происшествия, а также парирование его на основе соответствующих действий экипажа, а также системы автоматического управления авиационного судна. Для реализации целесообразно применять соответствующие программно-аппаратные комплексы, входящие в состав бортового оборудования авиационного судна.

Ключевые слова: система управления безопасностью полета, авиационное судно, устройство поддержки принятия решений, прогнозирование аварийной ситуации

Introduction. Recently, aviation specialists have been successfully implementing research aimed at synthesizing safety control systems for the flight of an aircraft in order to increase its level [1–5].

Usually, hardware-software redundancy is used to solve this problem. In addition, algorithms are used to construct reconfigurations of the complexes of the used onboard equipment of an aircraft vessel. It should be noted that these approaches are not guaranteed to achieve the required level of safety. This is due to the fact that so-called external factors and the psychophysical state of the crew also have a very significant impact on the flight state of an aircraft.

The considered factors that have an impact on the safety of air flight are determined by a set of variables. Moreover, their set of values can be measured indirectly or explicitly using fuzzy methods. During flight, the magnitude of the threat of an emergency may vary with changes in the values of specific factors that can affect the degree of safety of air flight, taking into account the actions of the crew. Therefore, it is necessary to take into account the variation in the threat of a particular emergency. At the same time, its identification and forecast on the aircraft ship is carried out in real time. When implementing this approach, it is possible to timely detect, as well as to counter the identified threat of a specific emergency. When choosing or developing a method for predicting the threat of a specific emergency, it is necessary to take into account its further implementation in the form of a hardware and software complex of the corresponding flight safety management system of an aircraft. The system allows you to identify the degree of an accident, issue warning signals about its presence to the crew, as well as neutralize it by aircraft flight control systems.

A method has been developed for advice to aircraft operators in case of emergencies [3]. This method uses an expert system, the knowledge base of which contains information to form recommendations for identifying the degree of operability of the onboard systems used, as well as recommended actions for the aircraft crew. This information is used to predict the occurrence of an emergency, as well as to generate appropriate messages for ship operators. This method has a disadvantage, which is associated with the lack of a procedure for forming an accurate characteristic upon the onset of an emergency. This, in turn, is due to the lack of mathematical modeling of the emergency process of an aircraft flight.

Another way to ensure the safety of aircraft flight is the "Automated highly intelligent system for ensuring the safety of aircraft flights" [4]. This system was developed by specialists of the M.M. Gromov. The functioning of the proposed system makes it possible to prevent an emergency situation. In this case, information is used to predict the variation of conditions, as well as an assessment of going beyond the permissible limits of the characteristics of flight conditions. To accomplish this, an expert system is used, which allows identifying emergency situations using the model of the considered controlled object. In the proposed highly intelligent system, the main disadvantages are associated with the requirement to use significant computer power to perform the required mathematical modeling of the aircraft flight.

In addition, the forecast of the variation of characteristics that determine the safety of air flight based on fuzzy methods is not applied. The implementation of the algorithm for predicting an emergency situation will allow to counter it in a timely manner by the actions of the crew or automatic control systems, while significant computer power of the onboard equipment complex is not required.

Problem statement. This work is devoted to the development of an algorithm for predicting an aircraft emergency situation. The proposed algorithm should make it possible to identify the variation in the threat of an accident, as well as to inform the crew of the aircraft in a timely manner about this threat.

The peculiarity of the algorithm lies in the application of a forecast of the variation of variables that determine the degree of threat of an emergency on a selected forecast time interval using a fuzzy model. To achieve the above goal, it is necessary to solve the following tasks:

- 1) analyze the input variables in the crew decision support device (DSS);
- 2) develop an algorithm for predicting an emergency situation on board an aircraft;
- 4) conduct simulation of the prediction algorithm.

Analysis of the input variables of the crew decision support device. The complex for managing the safety of an aircraft flight is a hardware and software tool that is used to recognize, predict and parry an identified threat of an emergency [6].

The flight safety management system includes devices for preliminary identification of the threat of an emergency, decision support and information output to the on-board systems of the aircraft. The decision support device, using data characterizing the flight conditions of the aircraft, as well as the forecast of their variation and the response of aircraft operators to the threat of a certain emergency, generates an advice to the pilot to counter it. When determining the situation associated with the absence of the required actions of aircraft operators to fend off the threat of an emergency, the control of the aircraft is transferred to the automatic system. In Figure 1 shows a functional diagram of the proposed complex for decision support.

Shown in figure 1 diagram demonstrates the following. Signals after data preprocessing are transmitted to the input of the device. These signals describe the influencing internal and external factors. These factors can be conditionally subdivided into 3 subgroups: the psychophysical state of the crew, the technical state of the control object and the weather conditions of the flight. The values of the input variables of the device are presented in a linguistic format, which allows them to be processed by means of fuzzy logic used as part of a prediction block and a set of rules. At the same time, using a mathematical forecasting model, the degree of variation of the air flight conditions during the existence of an emergency $T \in [t_0; t_{end}]$ threat is calculated, where t_0 is the beginning of the moment of the threat of an aviation accident, t_{end} is the end time of the threat of an aviation accident. The output values of predicting the variation of the air flight $X'(t)$ conditions of the aircraft in conjunction with the input information of the decision support complex are processed on the basis of a set of rules of the developed knowledge base of the DSS. Further, advice is formed to the aircraft operator to fend off the threat of an emergency situation or neutralize it using an automatic system.

Thus, the developed DSS complex allows the pilot to adjust the actions of the pilot to neutralize the threat of an emergency, which is achieved by using the method of predicting its change, taking into account the actions of the crew.

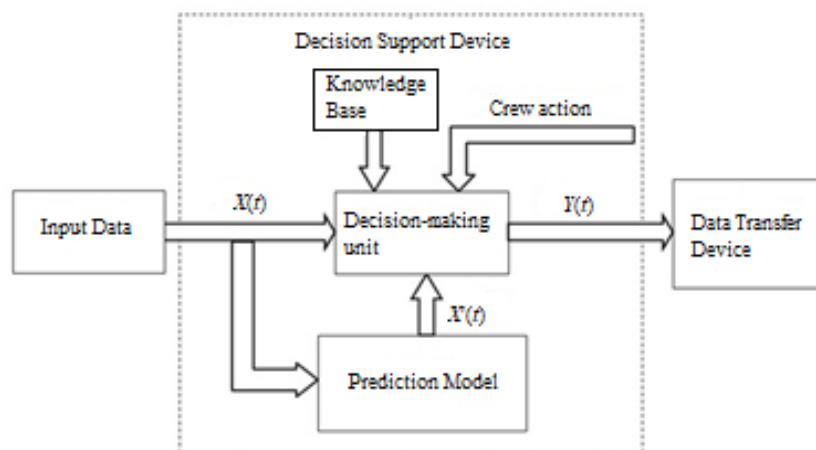


Figure 1 – Functional scheme decision support device

Here $X(t)$ – array of input data after preprocessing; $X'(t)$ – is the input data array that is obtained on the basis of data after preprocessing; $Y(t)$ – output values from decision support units that describe the instructions given to the pilot to avert the risk of an emergency or to parry signals by on-board automated systems.

According to the studies presented in [7], the flight conditions of the controlled object depend on the state of the influencing factors $X_1(t)$, $X_2(t)$, $X_3(t)$. These factors are described by a variety of characteristics that take into account variations in the psychophysiological variables of the state of the aircraft operators, the state of the controlled object, as well as external factors that affect the aircraft. Based on the measurement of the values of the variable, the form (profile) of the variation function is formed at a certain time interval, which specifies the beginning and end of the flight. The forecast of the implementation of the threat of an aircraft accident $X'(t) = X'_{critical}(t)$ is associated with the identification of the time value for which the identified value of the air flight conditions is associated with the critical value from the beginning to the end of the threat of an aircraft accident. In this case, the considered interval, determined by the beginning and the end of forecasting, is formed on the basis of the occurrence and completion of certain rather difficult air conditions of the aircraft flight, the considered catastrophic or emergency situations.

According to the studies presented in [7], the flight conditions of an aircraft are determined by the values of the influencing factors $X_1(t)$, $X_2(t)$, $X_3(t)$. Each of the influencing factors is characterized by a set of variables describing the change in the psychophysical state of the crew, the state of the control object, and weather conditions. At the same time, by recording the values of a variable, a profile of the function of its change is created for a given period of time, namely from the beginning to the end of the flight. Predicting the threat of an emergency situation consists in determining the moment of time at which the assessment of the flight condition takes critical values $X'(t) = X'_{critical}(t)$ from the beginning to the end of the threat of an accident. Then the interval of the beginning and the end of the prediction is [$t_{beg. of the pred.}$; $t_{end. of the pred.}$] can be determined by the appearance and completion of a complex airplane flight conditions, emergency and catastrophic situations. Considering that changes in the values of external and internal factors affecting the safety of an aircraft is [$t_{beg. of the pred.}$; $t_{end. of the pred.}$] are random and clearly defined, then methods of engineering analysis, optimal forecasting and the results of studies of the psychophysiological state of the crew should be used to predict them. Thus, the change in the psychophysical state of the crew over a certain period of time is estimated on the basis of data on changes in human psychomotor functions during their prolonged physical and monotonous load. The next step is to determine the time when the values of the controlled variable become critical and have an impact on the threat of an incident.

Thus, predicting the threat of an accident contains three main stages: determining the change in controlled variables over a period [$0:t_{beg. of the pred.}$], building their dependencies in the forecast time section, identifying the critical values of the considered characteristics in the predicted interval with calculating the values of the time of their occurrence. At the same time, the considered controlled variables are characterized by individual time dependence. They are identified based on a certain formation method as well as the predicted interval. Table 1 shows the variables affecting the safety of aircraft flight.

Table 1 – List of variables affecting the threat of an emergency

| Group | Variable | Current variable designation | Representation of the variable change function | T_{pred} |
|--------------------------------------|--|------------------------------|--|------------------|
| The psychophysical state of the crew | Fatigue | $x_{11}(t)$ | Building on the database of the psychophysical state of the crew before its flight | $T = 1$ hour |
| | Attention | $x_{12}(t)$ | | |
| | Level of training (competence) | $x_{13}(t)$ | | |
| | Stress | $x_{14}(t)$ | | |
| Aircraft condition | Failure of functionally significant elements | $x_{21}(t)$ | Building on the basis of on-board equipment failure analysis | $T = 1$ hour |
| | Deformation of the power fragments of the aircraft | $x_{22}(t)$ | Fixation of information on the variation of characteristics of the flight conditions of the aircraft | |
| | Controllability and stability of an aircraft vessel | $x_{23}(t)$ | Identified during the flight in the event of equipment failures in the control system of the aircraft | |
| | Error in the software of the aircraft control system | $x_{24}(t)$ | Building on the basis of software failure analysis | |
| External influencing factors | Headwind | $x_{31}(t)$ | Prediction of changes in values during the flight time interval. Meteorological forecast from the control point | $T = 15$ minutes |
| | Visibility | $x_{32}(t)$ | | |
| | Side wind | $x_{33}(t)$ | | |

It follows from the table that it is advisable to form the functions used, associated with a change in psychophysiological characteristics, before the flight. At the same time, it is advisable to identify the level of training of aircraft operators based on an assessment of the level of training of crew members [8]. We also note that the variation in the state of the aircraft due to failure and its effect on the components that are functionally significant, errors in the software complex of the aircraft's control system are identified during its construction using the methods of system and engineering analysis. At the same time, the moments of occurrence of critical situations during its management, as well as the moments of their occurrence, are revealed. Usually, this requires the formation of a fault tree of the components of the on-board complex used, as well as the construction of a software package for the distribution of emerging failures on a time scale.

In addition, there is a variation in the controllability and stability of the object under study due to failures of components that are functionally significant, as well as the software complex. Weather conditions are described by the corresponding functions, which are determined by the generated forecasts of meteorological conditions, as well as their subsequent variations during air flight.

It should also be noted that the stability of the structural components of the aircraft structure in relation to deformations also has a certain effect on flight conditions. This during an air flight is recorded by a set of sensors in the process of measuring the arising power loads on the aircraft. In this case, a forecast is carried out based on the estimates of the previous and current values of the stability of the power components of the aircraft.

As a result of using the proposed method for predicting the threat of an aviation accident, it is possible to identify the cause that affects its presence at a given time interval, as well as to formulate recommendations for the pilot to eliminate the accident. A distinctive feature of the method is the use of a profile – functions of changing each controlled variable that affects the flight conditions of the vessel, which improves the quality of parrying an aircraft accident.

Development of an algorithm for predicting an emergency situation on board an aircraft. The proposed method is implemented by an algorithm for predicting an emergency situation by the software and hardware of the crew decision support device. The block diagram of the algorithm for predicting the threat of an air accident is shown in figure 2.

The flowchart of the algorithm contains the following main steps:

Step 1. Initialization of input variables of functions $X_1(t)$, $X_2(t)$, $X_3(t)$, where $X_1(t)$ – psychophysical condition of the crew; $X_2(t)$ – aircraft condition, $X_3(t)$ – weather conditions.

Step 2. Verification of the condition that the assessment of flight conditions $Y(t)$ corresponds to the threat of an emergency in the time segment [$t_{beg. of the pred.}$; $t_{end. of the pred.}$].

Step 3. Formation of the type of functions controlled by the characteristic on the investigated interval [t_0 : $t_{end. of the pred.}$].

Step 4. Determination of the amount of variation of the controlled characteristics using the dependence of the type of functions, the calculation of the critical value of the controlled characteristic and the time point in time ($t_{beg. the crit.}$). Entering the obtained values into the database of the aircraft safety management system.

Step 5. Assessment of flight safety changes on the time period [$t_{beg. of the pred.}$; $t_{end. of the pred.}$].

Step 6. Checking the condition that the predicted value corresponds to the critical value (catastrophic and emergency state) $Y^*(t)$.

Step 7. Determining the point in time at when $Y^*(t) = Y_{critical}$.

Step 8. Data transmission $T_{crit. of the pred.}$, $Y_{critical}$ to a decision support device.

The proposed algorithm implements the method for predicting an aircraft accident using information on the variation in the values of influencing, controlled characteristics. In this case, the DSS generates advice to the crew for initialing the threat of an air accident using the information that is issued by the proposed algorithm. Further, in the absence of the required response from the aircraft crew members to the advice from the DSS, the automatic safety control system generates an appropriate electrical signal to neutralize the dangerous aviation event.

Simulation of an accident prediction algorithm. Suppose that the flight of an aircraft is accompanied by difficult conditions, then, according to the method for assessing flight conditions [9, 10], the influencing factors take the following values, characterized by linguistic variables (table 2).

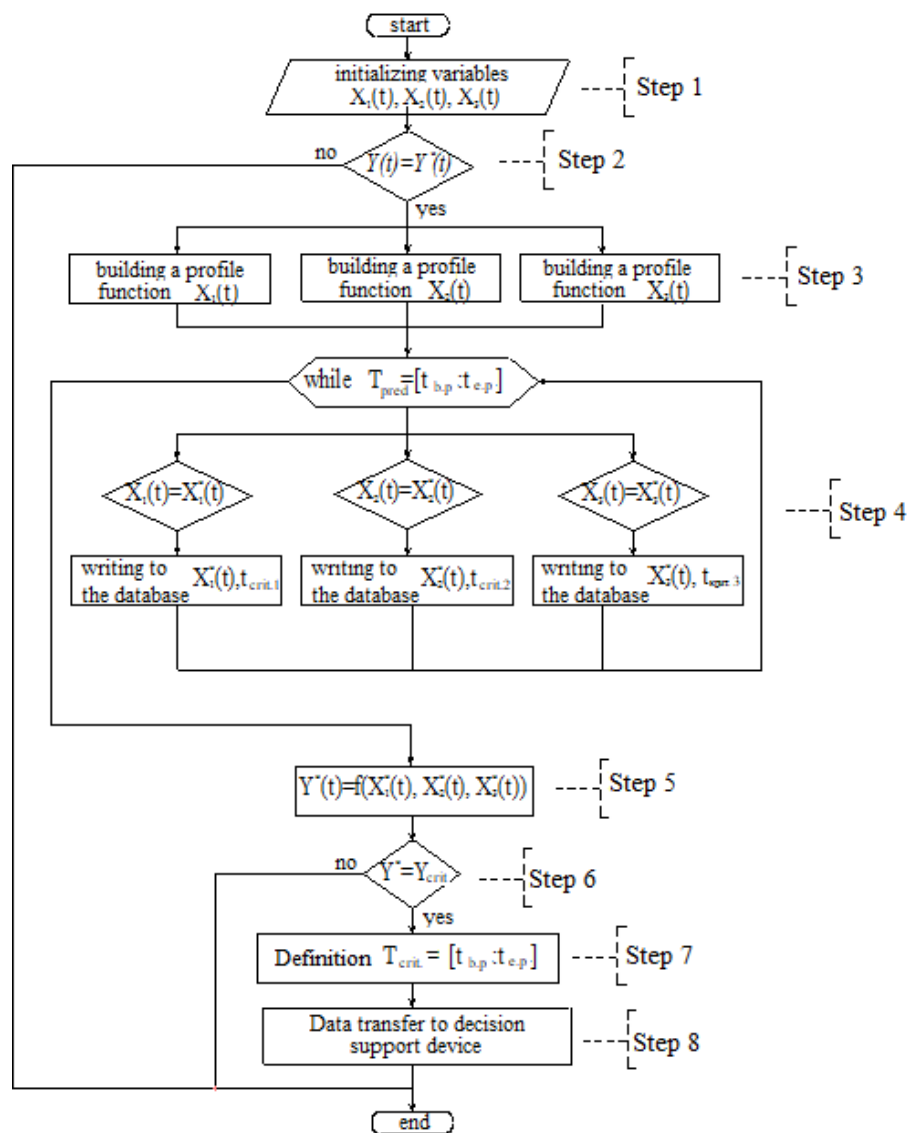


Figure 2 – Block diagram of the proposed algorithm for predicting the occurrence of an aircraft emergency

Table 2 – Variables of influencing factors for complex aircraft flight conditions

| Group | Variable | The value of the controlled characteristic at the moment of time $t_{begin\ of\ the\ pred.}$ | Values of the controlled parameter at the time interval $[t_{begin\ of\ the\ pred.}; t_{end\ of\ the\ pred.}]$ |
|---|--|--|--|
| Psychophysical characteristics of an aircraft pilot | Fatigue | medium | high |
| | Attention | medium | low |
| | Level of training (competence) | medium | medium |
| | Stress | not | not |
| Aircraft condition | Failure of functionally significant elements | insignificant | emergency |
| | Deformation of the power fragments of the aircraft | irrelevant | emergency |
| | Controllability and stability of an aircraft vessel | medium | low |
| | Error in the software of the aircraft control system | not visible | not visible |
| External influencing factors | Headwind | slow | slow |
| | Visibility | slow | slow |
| | Side wind | good | good |

Consider an example in which the weather conditions for an aircraft flight are good enough. In this case, insignificant failures of the controlled functional components are observed. The crew pilots have average values of psychophysiological characteristics. Then, in accordance with the main stages of the proposed algorithm for predicting an air accident, it is required to form the type of function of controlled characteristics. Their variation in the investigated area [$t_{\text{beg. of the pred.}}$; $t_{\text{end. of the pred.}}$] is shown in figures 3–5.

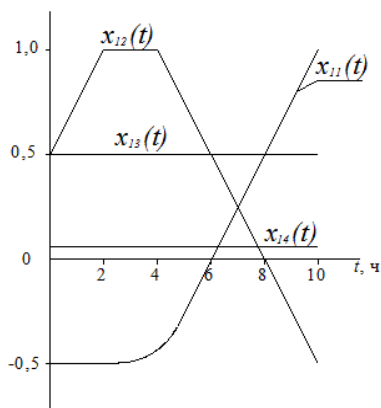


Figure 3 – Function profile $X_1(t)$

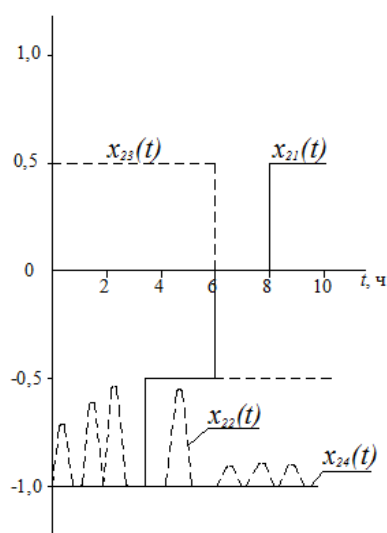


Figure 4 – Function profile $X_2(t)$

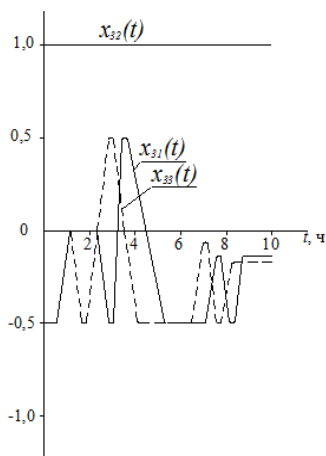


Figure 5 – Function profile $X_3(t)$

As follows from figure 3, the variables of the crew's psychophysical condition $X_1(t)$ have the following time distribution:

- fatigue $x_{11}(t)$, which is presented in the investigated time section $[0 \div 6]$ hours, correlates with a rather low level $[-0.5 \div 0]$, then, due to very long physical exertion, it increases from 0 to 1.0 in the predicted interval $T_{prediction} = [6 \div 10]h$;
- the amount of attention $x_{12}(t)$ on the time interval $[0 \div 6]$ hours is associated with a high value of the decrease to the value of the border, defined as the average level of 0.5, then, in accordance with the results of forecasting, due to rather monotonous loads, it decreases to 1.0 on the time interval $T_{prediction} = [6 \div 10]h$;
- the degree of training of aircraft operators $x_{13}(t)$ during the flight does not change among the crew members;
- the amount of stress $x_{14}(t)$ in the flight of the aircraft is not observed by the operators.

In figure 4 shows the characteristics, the change of which over time determines the weather conditions for the flight of an aircraft.

Variables characterizing the state of an aircraft $X_2(t)$ they are changed as follows (figure 4):

- failure of the components of the control system of the aircraft $x_{21}(t)$, which are functionally significant, in the time interval $T_{prediction} = [6 \div 10]h$, which is the so-called insignificant state $x_{21} = [0 \div 0,5]$. Taking into account the fact that the next failure of such a component of an element can initiate the emergence of an emergency state of an aircraft, therefore, on the segment it is shown as an emergency state;
- the magnitude of the arising deformations of the force components $x_{22}(t)$ in the time interval $[0 \div 6] h$ is random, i.e. absent. Taking into account the fact that the quantity has a random distribution, then using statistical forecasting, we calculate the variation on in the time interval $T_{prediction} = [6 \div 10]h$ where it is not observed;
- the controllability value $x_{23}(t)$ of the aircraft on the time interval $[0 \div 6]$ hours, which characterizes the so-called average state $[0.5 \div 0]$. Taking into account that the failure of an element that is functionally significant leads to a change in the controllability of the aircraft, the assessment of its state in the predicted interval $T_{prediction} = [6 \div 10]h$ will decrease from average to a value estimated as low;
- the magnitude of the error $x_{24}(t)$ in the software package, during the flight is not observed.

In figure 5 shows the characteristics, the change of which over time determines the weather conditions for the flight of an aircraft:

- wind values (head and side) $x_{31}(t)$, $x_{32}(t)$, in the time interval $[0 \div 6]$ hours, they are associated with the transition from the state, defined as weak, thus $[-0.5 \div 0]$ to a value defined as an average $[0 \div 0.5]$, as well as the reverse transition to a weak state. Thus, the temporal distribution of these characteristics $x_{31}(t)$, $x_{32}(t)$ appears to be random. Therefore, a statistical forecast $x_{31}(t)$, $x_{32}(t)$ is used, on its basis the values are calculated, on a time interval, while the wind, both head and side, is not observed in this time interval $T_{prediction} = [6 \div 10]h$;
- the characteristic of visibility on the time interval $[0 \div 6] h$ means the so-called good state, while changes are not observed, therefore, for this time interval $T_{prediction} = [6 \div 10]h$ also does not vary.

In addition, the value of the mean-square error in predicting the variation of characteristics $x_{22}(t)$, $x_{31}(t)$, $x_{33}(t)$, on the time interval $[t_{beg. of the pred.}; t_{end. of the pred.}]$, obtained in accordance with relation (1), does not exceed 3%. Next, the time of the appearance of critical values is calculated based on the variation of the controlled characteristics on the prediction time interval, which is shown in the table 2. Then, on the basis of the proposed intelligent method for determining the magnitude of the threat of an air accident, we calculate on the time interval $Y^*(t) = 0,5$ at $t = T_{critical} = [8 \div 10]h$. The results obtained indicate the transition of a rather difficult situation of an aircraft during the flight to the emergency stage at the investigated time interval from the moment of its beginning.

Consequently, based on the use of a variety of prediction methods, including an intelligent method, varying the parameters affecting both internal and external characteristics on the flight conditions of an aircraft, it is possible to predict the change in the value of the assessment of the threat of an aircraft accident.

Conclusion. The paper proposes an original algorithm for predicting the occurrence of an accident on an aircraft. Based on the result of the algorithm, the corresponding information is formed, according to which the pilots receive data on the deterioration of flight conditions, which allows them to neutralize the emerging threat to the aircraft within a given time interval. In this case, the algorithm, in contrast to the existing ones, forms a complex value for assessing the variation of the influencing, both internal and external factors, which determine the safety of flight conditions on the basis of calculating the profile of these factors.

The article describes the results of the performed computational experiment of the proposed algorithm, which confirmed its adequacy and the need for application. So, in accordance with the obtained

results of computer modeling, with a deterioration in the psychophysical characteristics of pilots and insignificant failures of components that belong to the onboard equipment of an aircraft, there is a threat of an air accident at a given forecast time interval. At the same time, using the advice (recommendations) of the decision support system for the crew members, as well as using the automatic aircraft system, it is possible to parry the identified threat.

References

1. Clothier, Reece. The safety risk management of unmanned aircraft systems. *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*, 2015, vol. 1, pp. 2229–2275
2. Luxhoj, James T. Williams, Trefor P. Integrated decision support for aviation safety inspectors. *Finite elements in Analysis and Design*, 1996, no. 23, pp. 381–403
3. Sukholitko, V. A. *Sposob podderzhki operatora v opasnykh situatsiyakh : patent na izobretenie RF 220544 G05D1/00* [The way to support the operator in danger situation : patent for invention RU 220544 G05D1/00], dated on 03.05.2017.
4. Berastov, L. M., Kharin, E. G. et al. *Avtomatizirovannaya vysokointellektualnaya sistema obespecheniya bezopasnosti : patent na izobretenie RF 2339547 B64D 45/00* [The automated high-intelligence for flight of aircraft : patent for invention RU 2339547 B64D45/00], dated on 27.11.2008.
5. Popov, Yu. V. *Pokazateli bezopasnosti aviatsionnykh poletov* [The safety indicators for aviation flights]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti* [Technology of techno field security], 2014, no. 6 (58). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-6/10-06-14.ttb.pdf>.
6. Bolshakov, A. A., Kulik, A. A., Sergushov, I. V., Scripal, E. N. *Razrabotka sistemy upravleniya bezopasnostyu poleta letatel'nogo apparata* [Designing the security control system for aircraft]. *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie* [Mechatronics, Automation, Control], 2016, no. 10, vol. 17, pp. 708–715.
7. Bolshakov, A. A., Kulik, A. A., Sergushov, I. V. *Razrabotka algoritmov funktsionirovaniya sistemy upravleniya bezopasnostyu poleta letatel'nogo apparata vertoletnogo tipa* [Designing the algorithms for function of security control system for helicopter]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* [The News of RAS Samara Science Center], 2016, no. 1 (2), vol. 18, pp. 358–362.
8. Shibakov, G. P. *Otsenka stepeni obuchennosti operatora dlya upravleniya letatel'nym apparatom* [Evaluation of the degree of operator training for aircraft control]. *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie* [Mechatronics, Automation, Control], 2017, no. 7, vol. 18, pp. 492–495.
9. Ventsel, A. D. *Kurs sluchaynykh protsessov* [The course of random processes]. Moscow, Nauka Publ. ; Fizmatlit Publ., 1996. 400 p.
10. Bolshakov, A. A., Kulik, A. A., Sergushov, I. V., Scripal, E. N. *Metod otsenki ugrozy aviatsionnogo proisshestiya na baze iskusstvennogo intellekta* [The method of assessing the threat of an aviation accident on the basis of aircraft intelligence]. *MKPU-2017 : sbornik nauchnykh trudov Vserossiyskoy konferentsii* [MKPU-2017 : collection of proceeding of the All-Russian Conference], 2017, pp. 157–158.

Библиографический список

1. Clothier, Reece *The safety risk management of unmanned aircraft systems* / Reece Clothier // *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*. – 2015. – Vol. 1. – P. 2229–2275
2. Luxhoj, James T. *Integrated decision support for aviation safety inspectors* / James T. Luxhoj, Trefor P. Williams // *Finite elements in Analysis and Design*. – 1996. – № 23. – P. 381–403
3. Сухолитко, В. А. *Способ поддержки оператора в опасных ситуациях : патент на изобретение РФ № 220544 G05D1/00* / В. А. Сухолитко. – Дата публикации: 03.05.2017.
4. Берестов, Л. М. *Автоматизированная высокоинтеллектуальная система обеспечения безопасности полета летательного аппарата : патент на изобретение РФ № 2339547 B64D 45/00* / Л. М. Берестов, Е. Г. Харин и др. – Дата публикации: 27.11.2008.
5. Попов, Ю. В. *Показатели безопасности авиационных полетов* / Ю.В. Попов // *Технологии техно-, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 12.04.2017).*
6. Большаков, А. А. *Разработка системы управления безопасностью полета летательного аппарата* / А. А. Большаков, А. А. Кулик, И. В. Сергушов, Е. Н. Скрипаль // *Мехатроника, автоматизация и управление*. – 2016. – № 10. – С. 708–715.
7. Большаков, А. А. *Разработка алгоритмов функционирования системы управления безопасностью полета летательного аппарата вертолетного типа* / А. А. Большаков, А. А. Кулик, И. В. Сергушов // *Известия Самарского научного центра РАН*. – 2016. – Т. 18, № 1 (2). – С. 358–362.
8. Шибаков, Г. П. *Оценка степени обученности оператора для управления летательным аппаратом* / Г. П. Шибаков // *Мехатроника, автоматизация и управление*. – 2017. – № 7, т. 18. – С. 492–495.
9. Вентцель, А. Д. *Курс случайных процессов* / А. Д. Вентцель. – 2-е изд., доп. – Москва : Наука. Физматлит, 1996. – 400 с.
10. Большаков, А. А. *Метод оценки угрозы авиационного происшествия на базе искусственного интеллекта* / А. А. Большаков, А. А. Кулик, И. В. Сергушов, Е. Н. Скрипаль // *MKPU-2017 : сборник научных трудов Всероссийской конференции*. – 2017. – С. 36–38.

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

DOI 10.21672/2074-1707.2021.56.4.018-026
УДК 004.001

МНОГОУРОВНЕВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ И КАСКАДИРОВАНИЯ РИСКОВ

Статья поступила в редакцию 17.09.2021, в окончательном варианте – 22.09.2021.

Бондарева Ирина Олеговна, Астраханский государственный технический университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, кандидат технических наук, доцент, ORCID: 0001_9672_4502, e-mail: i.o.bondareva@gmail.com

Ханова Анна Алексеевна, Астраханский государственный технический университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, доктор технических наук, доцент, ORCID: 0003_2693_8876, e-mail: akhanova@mail.ru

Представлено концептуальное решение, позволяющее осуществить управление рисками организационной системы (на примере грузового порта) на трех уровнях управления: стратегическом, тактическом и операционном. Предложен поэтапный механизм комплексного использования каскадирования рисков и логико-вероятностного моделирования с целью подробного и многостороннего описания причинно-следственных связей, а также имитационного моделирования как инструмента анализа, оценки и предсказания наступления рисков ситуаций. Описанный механизм наглядно отображен в виде структурной схемы многоуровневого управления рисками. Подробно описан метод каскадирования рисков на стратегическом, тактическом и операционном уровнях управления, каждый из которых рассматривает в качестве рисков ситуации недостижение целей организационной системы, недостижение показателями оценки реализации цели нормативных значений и недостижение детализированными показателями оценки реализации целей нормативных значений соответственно. Обозначены основные цели организационной системы – грузового порта, дополненные показателями оценки их достижения, а также критериями детализации каждого из предложенных показателей оценки. Представлена каскадная логико-вероятностная модель риска недостижения стратегической цели грузового порта, детализирующая сценарии первого уровня целеполагания и включающая все три уровня управления. Сформулированы и описаны логические и вероятностные модели различных уровней управления, пояснены выявленные основные закономерности. Подробно описан механизм фиксации наступления рисков ситуаций на операционном уровне с помощью технологий каскадирования и имитационного моделирования, выявления причинно-следственных связей с помощью логико-вероятностного моделирования, а также формулирования рекомендаций с целью предотвращения наступления рисков ситуаций в будущие периоды, т.е. на тактическом и операционном уровнях управления. Разработанный механизм, по сути, представляет собой инструмент планирования на различных уровнях управления.

Ключевые слова: каскадирование рисков, логико-вероятностное моделирование, имитационное моделирование, многоуровневое управление, организационные системы

MULTI-LEVEL MANAGEMENT OF ORGANIZATIONAL SYSTEMS ON THE BASIS OF MODELING AND CASCADING

The article was received by the editorial board on 17.09.2021, in the final version – 22.09.2021.

Bondareva Irina O., Astrakhan State Technical University, 16 Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, ORCID: 0001_9672_4502, e-mail: i.o.bondareva@gmail.com

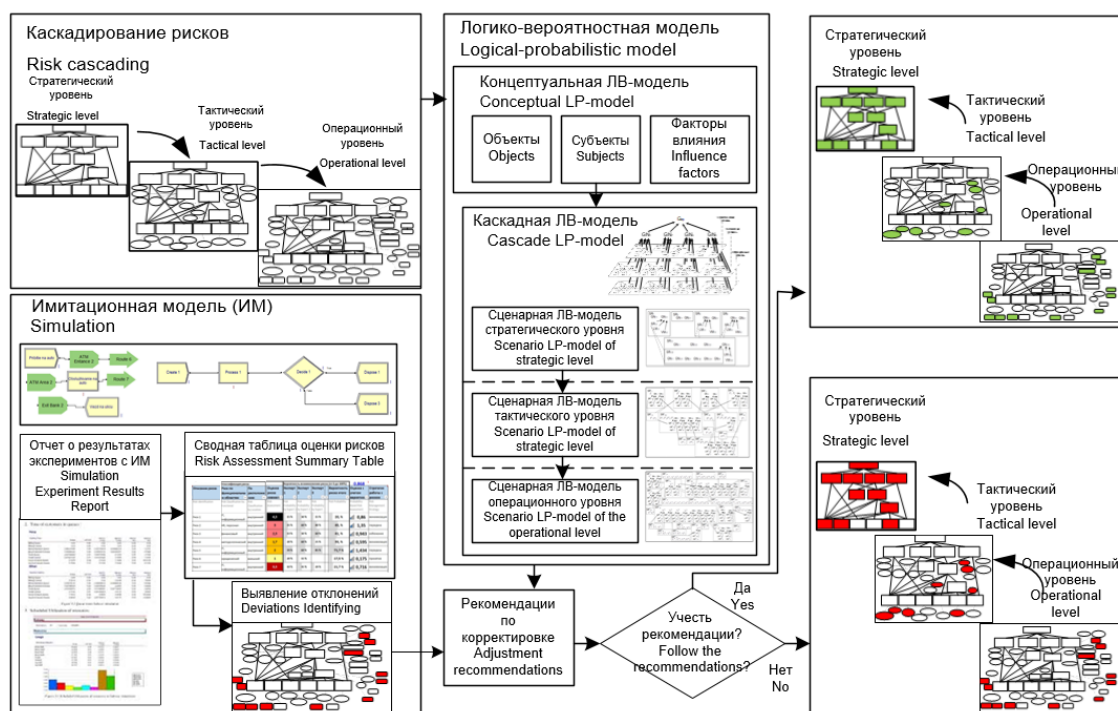
Khanova Anna A., Astrakhan State Technical University, 16 Tatishcheva St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, Doct. Sci. (Engineering), Associate Professor, ORCID: 0003_2693_8876, e-mail: akhanova@mail.ru

A conceptual solution is presented that allows for managing the risks of an organizational system (for example, a cargo port) at three levels of management: strategic, tactical and operational. A step-by-step mechanism for the integrated use of risk cascading and Logical-Probabilistic modeling is proposed for the purpose of a detailed and multilateral description of cause-and-effect relationships, as well as simulation modeling as a tool for analyzing, assessing and predicting the occurrence of risk situations. The described mechanism is clearly displayed in the form of a structural diagram of multilevel risk management. The method of cascading risks at the strategic, tactical and operational levels of management is described in detail, each of which considers as a risk situation the failure to achieve the goals of the

organizational system, the failure of the indicators to assess the implementation of the goal of the normative values and the failure of the detailed indicators to assess the implementation of the goals of the normative values, respectively. The main goals of the organizational system – the cargo port, are indicated, supplemented by indicators for assessing their achievement, as well as criteria for detailing each of the proposed assessment indicators. A cascade logical-probabilistic model of the risk of failure to achieve the strategic goal of a cargo port is presented, detailing the scenarios of the first level of goal-setting and including all three levels of management. The logical and probabilistic models of various levels of management are formulated and described, the identified basic regularities are explained. The mechanism of fixing the onset of risk situations at the operational-level using cascading technologies and simulation modeling, identifying cause-and-effect relationships using logical-probabilistic modeling, as well as formulating recommendations to prevent the onset of risk situations in future periods is described in detail, i.e. at the tactical and operational levels of management. The developed mechanism is essentially a planning tool at various levels of government.

Keywords: cascading risks, logical-probabilistic modeling, simulation modeling, multilevel management, organizational systems

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. Изучение вопросов поиска эффективных технологий управления деятельностью предприятия, представляющего собой благодаря большому количеству взаимодействующих бизнес-процессов сложную организационную систему (ОС), на сегодняшний день сопряжено с выявлением, а также комплексным анализом целей, индикаторов их достижения, а также возможных рисков. Построение логических взаимосвязей между планированием и оценкой вероятности наступления рискованных ситуаций является актуальной задачей, перспективной и обоснованной возможностью повышения эффективности управления [1].

В качестве современного инструментария, позволяющего описывать подобного рода взаимосвязи, применяется подход с использованием логико-вероятностного (ЛВ) моделирования [2]. Одним из его достоинств является возможность рассмотрения деятельности организации не только с точки зрения экономической эффективности, но и с фокусировкой на интересы и особенности всех вовлекаемых в данный процесс сторон.

Наряду с ЛВ-моделированием для прослеживания причинно-следственных связей при наступлении рискованной ситуации предлагается использовать механизм представления иерархии целей и показателей в виде каскадов [3].

Каскадирование рисков. Каскадирование изначально появилось как инструмент детализации целей и показателей оценки эффективности функционирования тех или иных предприятий путем уточнения общих критериев эффективности для конкретных подразделений. Таким образом обозначаются ответственность и вклад каждого специализированного подразделения в общую стратегию предприятия в соответствии со спецификой осуществляемых им работ. Т.е. каскадирование позволяет

сформулировать и уточнить цели и показатели для более детального и последовательного отслеживания возможных отклонений от намеченных целей с момента их наступления с целью корректировки функционала ответственных подразделений до исправления неблагоприятной ситуации.

Проведенный анализ источников, посвященных каскадированию целей и показателей, позволяет судить об использовании его в большинстве случаев совместно со сбалансированной системой показателей, являющейся инструментом стратегического управления [3]. Гораздо более востребованной и обоснованной практически является технология реализации многоуровневого управления – от стратегического к тактическому и операционному и наоборот. Т.е. такой подход, при котором все стратегические цели подчинены оценочному механизму поддержания общей стратегии путем реализации детализированных целей тактического и операционного уровней. Описание данного механизма в привязке к рискам организации найдено не было, в связи с чем цель работы – формирование структуры многоуровневого управления организационными системами путем совместного использования каскадирования рисков организации и ЛВ-моделирования [4].

Многоуровневое каскадирование рисков заключается в формулировке основной стратегической цели и детализирующих её целей на стратегическом уровне управления, где в качестве рисков рассматривается недостижение целей. Затем на тактическом уровне управления для каждой цели формулируются оценивающие ее показатели, и в качестве рисков уже выступает недостижение показателями оценки реализации целей нормативных значений. Операционный уровень управления дополняет тактический детализированными показателями оценки достижения целей, т.е. разбивает ряд показателей тактического уровня, конкретизируя их по различным критериям: по отношению к структурным подразделениям, ответственным за достижение показателем нормативного значения; по отношению к виду проводимых работ или оказываемых услуг и т.п. На операционном уровне риски представляют собой недостижение детализированными показателями оценки достижения целей нормативных значений. Схематически каскадирование рисков изображено на рисунке 1.

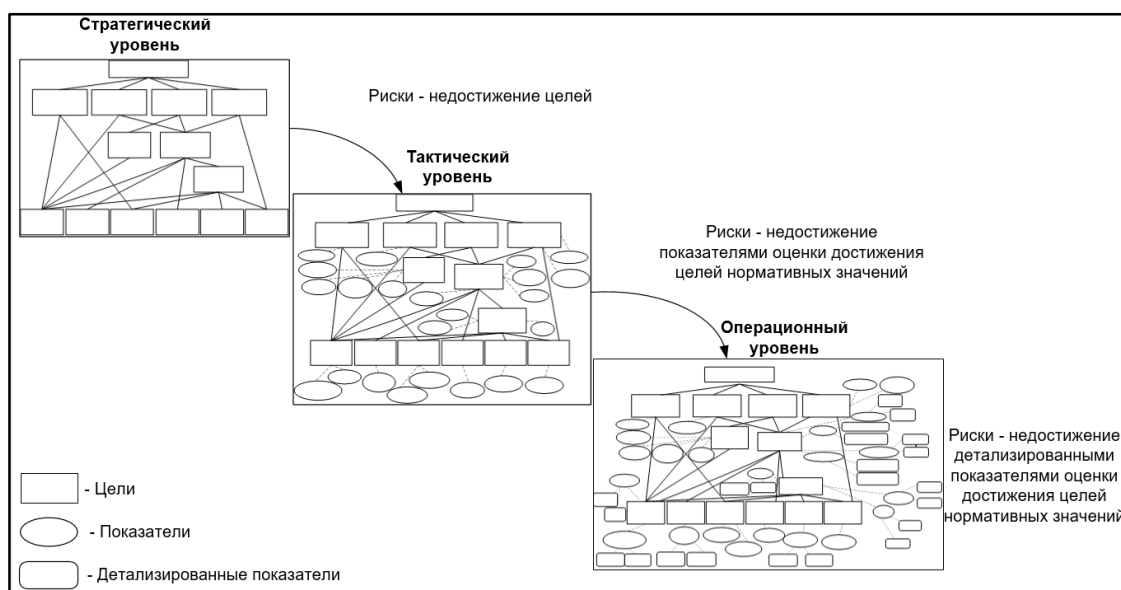


Рисунок 1 – Схема каскадирования рисков

Концепция совместного использования каскадирования рисков, ЛВ и имитационного моделирования для многоуровневого управления организационными системами. В качестве предметной области выбрано предприятие транспортной логистики – грузовой порт. Рассмотрим интеграцию предложенных подходов для многоуровневого управления рисками организационной системы (рис. 2).

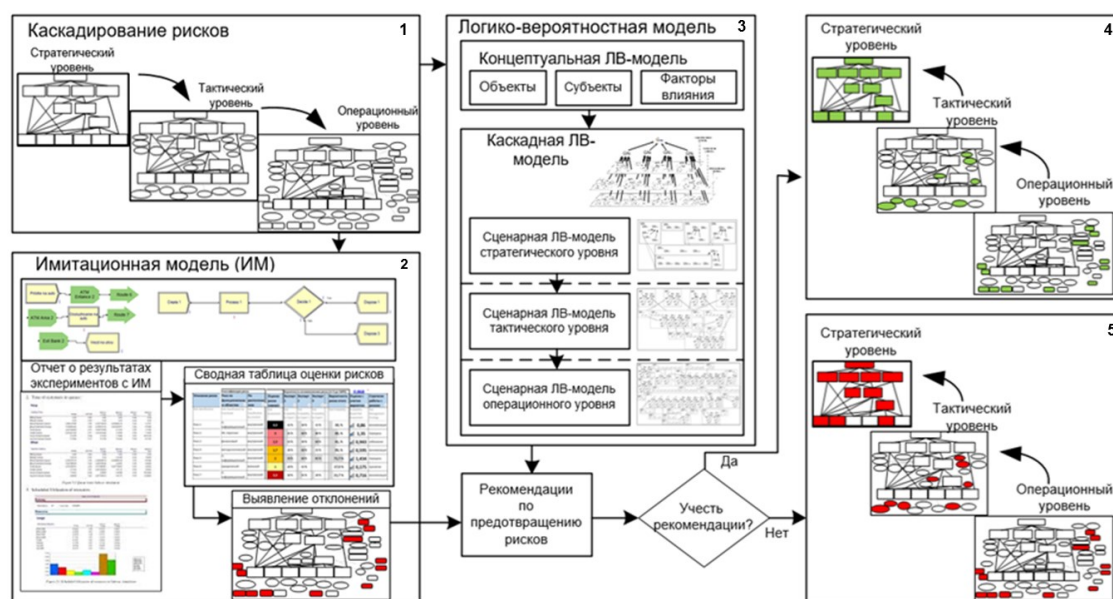


Рисунок 2 – Структурная схема многоуровневого управления рисками ОС на основе каскадирования рисков, ЛВ и имитационного моделирования

Рассчитать сформулированные на операционном уровне детализированные показатели оценки достижения целей (блок 1 «Каскадирование рисков») возможно с помощью имитационного моделирования (блок 2 «Имитационная модель») [5]. По результатам проведения имитационных экспериментов формируется статистика отчетов, на основании которой строится сводная таблица оценки рисков, таким образом выявляются отклонения от нормативных значений детализированных показателей оценки достижения целей, т.е. возможные к наступлению риски операционного уровня. На основе этой информации с учетом выявления причинно-следственных взаимосвязей ЛВ-модели (блок 3) вырабатываются рекомендации по предотвращению выявленных рисков ситуаций. Учет подобных рекомендаций позволяет скорректировать на операционном уровне значения детализированных показателей путем воздействия на объекты рассматриваемой системы, что в свою очередь благоприятно сказывается на устранении рисков ситуаций на тактическом и стратегическом уровне, т.е. позволяет достичь стратегических целей в перспективе (блок 4). Напротив, игнорирование рекомендаций по корректировке поведения системы негативно влияет на риски последующих периодов, провоцируя их неизбежное наступление (блок 5).

ЛВ-моделирование рисков. ЛВ-модель риска представляет совокупность концептуальной модели, описывающей взаимосвязь объектов ОС (целей), субъектов и факторов влияния. Общий перечень целей грузового порта представлен в таблице 1. Для многоуровневого управления рисками в большей степени представляет интерес выявление причинно-следственных связей, представленных на каскадной ЛВ-модели (рис. 3), отражающей сценарные ЛВ-модели всех трех уровней управления.

Таблица 1 – Комплекс целей грузового порта

| Обозначение цели | Цель |
|------------------|--|
| GN_1 | сократить зависимости от внешних займов |
| GN_2 | повысить эффективность использования ресурсов |
| GN_3 | повысить уровень социальной ответственности бизнеса |
| GN_4 | повысить доходность и платежеспособность |
| GN_{11} | повысить квалификацию сотрудников |
| GN_{12} | повысить уровень ответственности перед потребителями |
| GN_{21} | оптимизировать количество ресурсов порта |
| GN_{31} | повысить уровень социальной защищенности персонала |
| GN_{41} | обеспечить стабильность сбытовой работы |
| GN_{121} | повысить уровень содействия охране окружающей среды |
| GN_{122} | повысить уровень взаимодействия с местной властью |
| GN_{123} | повысить качество погрузочно-разгрузочных работ |
| GN_{1231} | своевременное выполнение погрузочно-разгрузочных работ |

Целям $G_{ccp} = (GN_1, GN_2, \dots, GN_4)$ соответствуют ЛВ-модели риска. Объектами-целями являются компоненты G_{ccp} : GN_1 – сократить зависимости от внешних займов, GN_2 – повысить эффективность использования ресурсов, GN_3 – повысить уровень социальной ответственности бизнеса, GN_4 – повысить доходность и платежеспособность. Согласно концепции применения ЛВ-моделей риска для каждой i -ой цели GN_i необходимо последовательно построить сценарий риска SR_i , Л-модель LM_i и В-модель VM_i . На рисунке 3 представлены сценарии первого уровня целеполагания, включающие следующие элементы: GN_{11} – повысить квалификацию сотрудников, GN_{12} – повысить уровень ответственности перед потребителями, GN_{21} – оптимизировать количество ресурсов порта, GN_{31} – повысить уровень социальной защищенности персонала, GN_{41} – обеспечить стабильность сбытовой работы, I_1^1 – фондоотдача, I_1^2 – коэффициент финансовой независимости, I_1^4 – коэффициент абсолютной ликвидности, I_2^4 – коэффициент рентабельности собственного капитала.

На стратегическом уровне логическая модель LM_{ccp}^S неуспеха события принимает вид: $G_{ccp} = GN_1 \vee GN_2 \vee \dots \vee GN_4$.

Вероятностная функция (В-модель) VM_{ccp}^S неуспеха события:

$$P\{G_{ccp} = 0\} = P\{GN_1 = 0\} + P\{GN_2 = 0\}(1 - P\{GN_1 = 0\}) + P\{GN_3 = 0\}(1 - P\{GN_1 = 0\}) \times \\ \times (1 - P\{GN_2 = 0\})P\{GN_4 = 0\}(1 - P\{GN_1 = 0\})(1 - P\{GN_2 = 0\})(1 - P\{GN_3 = 0\}).$$

Логическая и вероятностная модели первого уровня целеполагания на операционном уровне будут идентичны соответствующим моделям тактического уровня. Это связано с тем, что сценарии первого уровня целеполагания операционного уровня управления не претерпели изменений относительно тактического в связи с тем, что содержат недетализируемые ни по каким критериям показатели (показатели первого уровня). Именно поэтому справедливо следующее.

$$LM_{ccp}^O = LM_{ccp}^T: G_{ccp} = I_1^1 \vee I_1^2 \vee GN_3 \vee I_1^4 \vee I_2^4.$$

$$VM_{ccp}^O = VM_{ccp}^T:$$

$$P\{G_{ccp} = 0\} = P\{I_1^1 \neq I_{1norm}^1\} + P\{I_1^2 \neq I_{1norm}^2\}(1 - P\{I_1^1 \neq I_{1norm}^1\}) + P\{GN_3 = 0\}(1 - P\{I_1^1 \neq I_{1norm}^1\})(1 - P\{I_1^2 \neq I_{1norm}^2\}) + \\ + P\{I_1^4 \neq I_{1norm}^4\}(1 - P\{I_1^1 \neq I_{1norm}^1\})(1 - P\{I_1^2 \neq I_{1norm}^2\})(1 - P\{GN_3 = 0\}) + P\{I_2^4 \neq I_{2norm}^4\}(1 - P\{I_1^1 \neq I_{1norm}^1\}) \times \\ \times (1 - P\{I_1^2 \neq I_{1norm}^2\})(1 - P\{GN_3 = 0\})(1 - P\{I_1^4 \neq I_{1norm}^4\}).$$

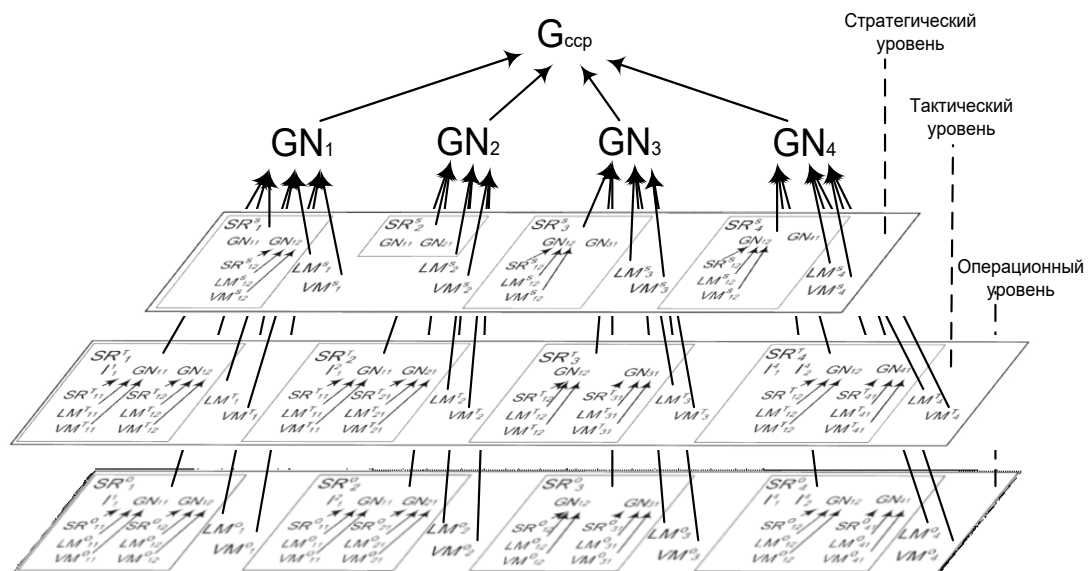


Рисунок 3 – Каскадная ЛВ-модель риска недостижения стратегической цели ОС (детализация сценариев первого уровня целеполагания, три уровня управления)

Остальные уровни целеполагания представлены целями GN_{121} – повысить уровень содействия охране окружающей среды, GN_{122} – повысить уровень взаимодействия с местной властью, GN_{123} – повысить качество погрузочно-разгрузочных работ и GN_{1231} – своевременное выполнение погрузочно-разгрузочных работ. Полный перечень показателей оценки достижения с указанием критериев их детализации (при наличии) на операционном уровне представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Индикаторы и критерии детализации показателей оценки функционирования грузового порта

| Обозначение показателя оценки | Показатель, единицы измерения | Критерий детализации показателя |
|-------------------------------|---|---------------------------------|
| I_1^1 | Фондоотдача | – |
| I_2^1 | Коэффициент финансовой независимости | – |
| I_1^4 | Коэффициент абсолютной ликвидности | – |
| I_2^4 | Коэффициент рентабельности собственного капитала | – |
| I_1^{11} | Процент сотрудников, квалификация которых соответствует занимаемой должности, % | По структурным подразделениям |
| I_2^{11} | Затраты на обучение сотрудников, руб. | По структурным подразделениям |
| I_1^{12} | Количество постоянных клиентов, ед. | По видам услуг |
| I_2^{12} | Процент клиентов, обратившихся повторно, % | По видам услуг |
| I_3^{12} | Количество новых клиентов, ед. | По видам услуг |
| I_4^{12} | Количество недовольных клиентов, ед. | По видам услуг |
| I_1^{21} | Коэффициент интенсивного использования оборудования | – |
| I_2^{21} | Коэффициент экстенсивного использования оборудования | – |
| I_1^{31} | Объем налоговых отчислений за период, руб. | – |
| I_2^{31} | Объем социальных отчислений за период | – |
| I_3^{31} | Соотношение минимальной зарплаты к прожиточному минимуму | – |
| I_4^{31} | Соотношение минимальной зарплаты к средней, % | – |
| I_1^{41} | Обеспеченность заказами (договорами) в днях, дн. | – |
| I_1^{121} | Доля судов, отвечающих стандартам экологичности, % | По видам грузов |
| I_1^{123} | Безотказность погрузки, % | По видам грузов |
| I_2^{123} | Количество утерянного (испорченного) при погрузке груза, т | По видам грузов |
| I_3^{123} | Среднее время погрузки, ч | По видам грузов |
| I_1^{1231} | Процент погрузочных работ, выполненных в срок, % | По видам грузов |

В качестве структурных подразделений порта в рамках данного исследования примем следующие: отдел грузовых операций, складской комплекс, коммерческий отдел, тальманский отдел, технический отдел, обеспечивающие отделы и руководство порта. В качестве интересующих видов услуг, оказываемых портом, рассматриваются следующие: перевалка грузов, хранение грузов, экспедирование грузов железнодорожным и автомобильным транспортом. Рассматриваемый грузовой порт осуществляет погрузку следующих видов грузов: песок, асбест, железо листовое и железо швеллер.

Рассмотрим для сравнения сценарные модели риска недостижения стратегической цели грузового порта тактического (рис. 4) и операционного (рис. 5) уровней управления, включающие все уровни целеполагания.

Наглядное сравнение сценариев тактического и операционного уровней позволяет убедиться в том, что сценарии операционного уровня расширяют сценарии тактического уровня за счёт включения новых сценариев детализируемых показателей, оказывающих непосредственное влияние на соответствующие элементы сценария предыдущего уровня целеполагания.

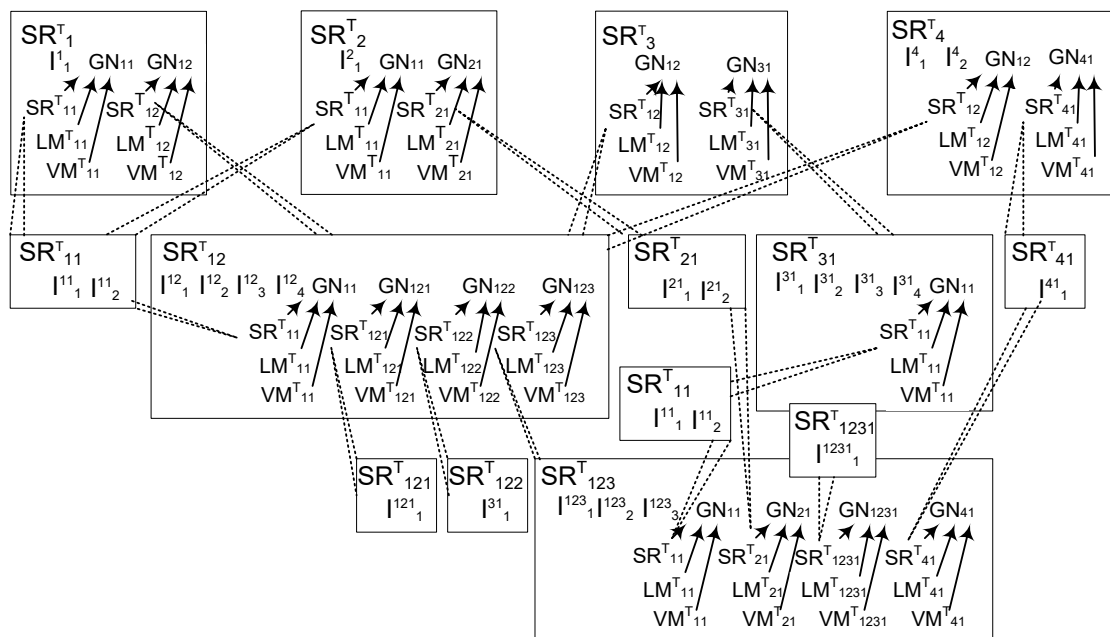


Рисунок 4 – Модель тактических сценариев рисков недостижения целей, связанных с основной стратегической целью грузового порта

На тактическом уровне о неуспехе события (достижения цели) может свидетельствовать недостижение определенным показателем (или показателями) нормативного значения. На операционном уровне о неуспехе события свидетельствует недостижение хотя бы одним из детализирующих его по выбранному критерию (таблица 1) показателей своего нормативного значения.

В качестве примера рассмотрим ЛВ-модели комплексного показателя I_1^{12} «Количество постоянных клиентов», детализированного на операционном уровне по видам услуг (перевалка, хранение и экспедирование грузов) на $I_1^{12_1}$, $I_1^{12_2}$ и $I_1^{12_3}$ соответственно:

$$LM_1^{o_{12}}: I_1^{12} = I_1^{12_1} \vee I_1^{12_2} \vee I_1^{12_3}.$$

$$P\{I_1^{12} \neq I_1^{12_{norm}}\} = P\{I_1^{12_1} \neq I_1^{12_{1norm}}\} + P\{I_1^{12_2} \neq I_1^{12_{2norm}}\}(1 - P\{I_1^{12_1} \neq I_1^{12_{1norm}}\}) + VM_1^{o_{12}}: + P\{I_1^{12_3} \neq I_1^{12_{3norm}}\}(1 - P\{I_1^{12_1} \neq I_1^{12_{1norm}}\})(1 - P\{I_1^{12_2} \neq I_1^{12_{2norm}}\}).$$

Заключение. Отличительной особенностью предложенного механизма является возможность предсказания на операционном этапе управления наступление нежелательных ситуаций в последующие периоды, т.е. на остальных уровнях управления. Предсказания подобного характера путем мониторинга соответствующих значений рисков недостижения целей и нормативных значений показателей позволяют выработать рекомендации по корректировке значений с целью недопущения негативных рисков ситуаций в будущих периодах. Именно такой многоуровневый подход к управлению позволит в результате прийти к достижению поставленных стратегических целей и, таким образом, привести организацию к стабильно эффективному развитию.

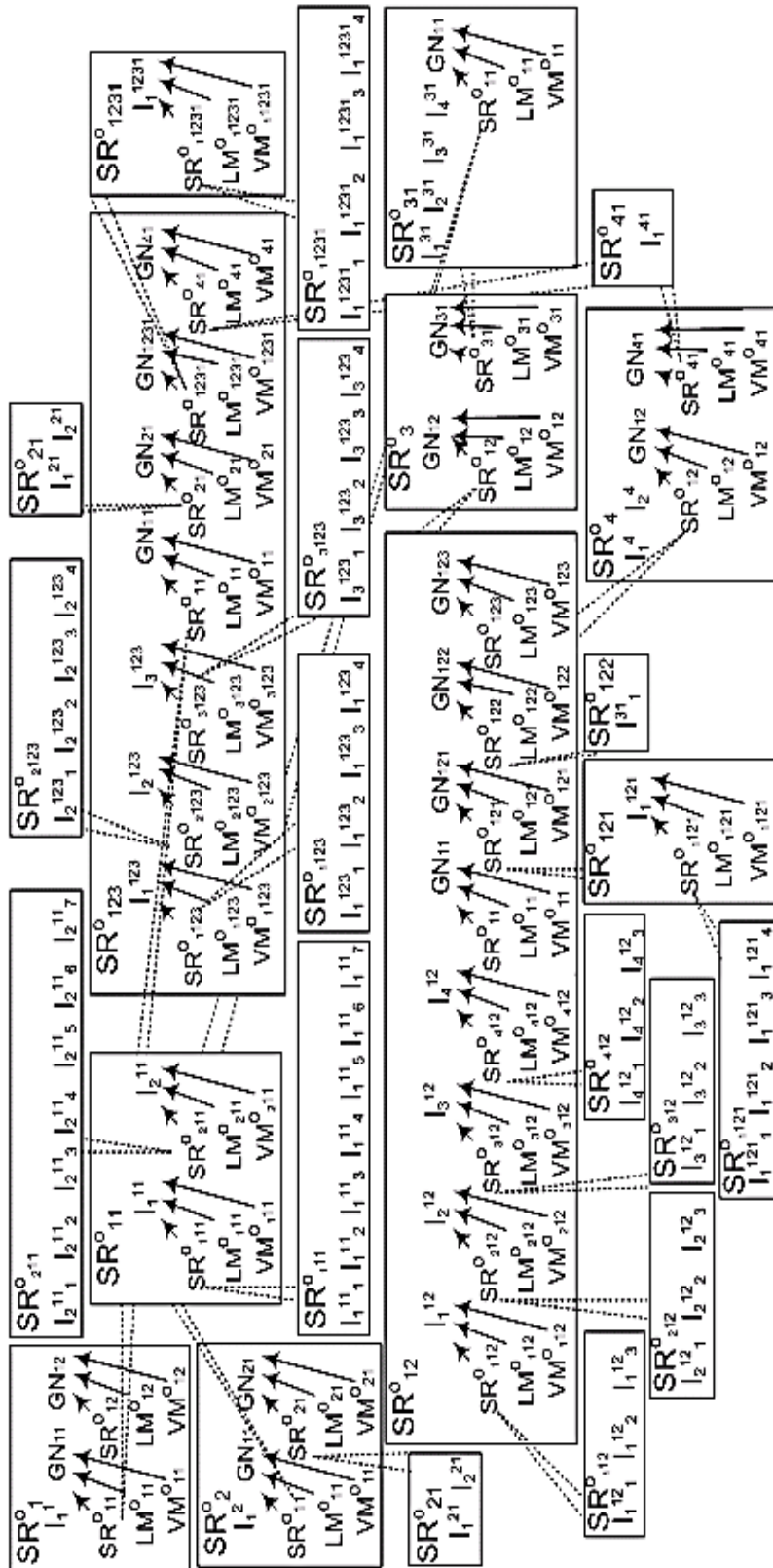


Рисунок 5 – Модель операционных сценариев рисков недостижения целей, связанных с основной стратегической целью грузового порта

Библиографический список

1. Bondareva, I. Configuring Systems Based on Petri Nets, Logic-Probabilistic, and Simulation Models / I. Bondareva, A. Khanova, Y. Khanova // *Cyber-Physical Systems: Modelling and Intelligent Control. Studies in Systems, Decision and Control.* – Springer, Cham., 2021. – Vol. 338. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66077-2_21.
2. Ho, M. W. Risk management in large physical infrastructure investments: the context of seaport infrastructure development and investment / M. W. Ho, K. H. Ho (David) // *Maritime Econom. Log.* – 2006. – No. 8 (2). – P. 140–168. <https://doi.org/10.1057/palgrave.mel.9100153>.
3. Bondareva, I. O. Logical-probabilistic and simulation modeling as a toolkit for complex analysis and risk management of a cargo port / I. O. Bondareva, M. V. Shendo, T. V. Luneva, A. A. Khanova // *E3S Web Conf.* – 2020. – Vol. 224. – P. 02027. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022402027>.
4. Protalinsky, O. Cognitive Model of the Balanced Scorecard of Manufacturing Systems / O. Protalinsky, A. Khanova, I. Bondareva, K. Averianova, Y. Khanova, O. Dolinina et al. // *Recent Research in Control Engineering and Decision Making. ICIT 2020. Studies in Systems, Decision and Control.* – Springer, Cham., 2021. – Vol. 337. https://doi.org/10.1007/978-3-030-65283-8_47.
5. Solozhentsev, E. Logic and probabilistic risk models for management of innovations system of country / E. Solozhentsev // *International Journal of Risk Assessment and Management.* – 2015. – Vol. 18, iss. 3–4. – P. 237–255. <https://doi.org/10.1504/IJRAM.2015.071211>
6. Solozhentsev, E. Hybrid logical and probabilistic models for management of socioeconomic safety / E. Solozhentsev, V. Karasev // *International Journal of Risk Assessment and Management.* – 2018. – Vol. 21, iss. 1–2. – P. 89–110. <https://doi.org/10.1504/IJRAM.2018.090258>.
7. Бондарева, И. О. Управление рисками транспортно-логистического предприятия на основе логико-вероятностного и имитационного моделирования / И. О. Бондарева // *Математическое и компьютерное моделирование в экономике, страховании и управлении рисками.* – 2020. – № 5. – С. 29–35.
8. Бондарева, И. О. Конфигурирование систем на основе сетей петри, логико-вероятностных и имитационных моделей / И. О. Бондарева, А. А. Ханова, Ю. А. Ханова // *Математические методы в технике и технологиях – ММТТ.* – 2020. – Т. 12–2. – С. 121–126.
9. Недосекин, А. О. Управление корпоративными рисками и шансами : учеб. курс / А. О. Недосекин, З. И. Абдулаева. – Санкт-Петербург, 2010. – 125 с.
10. Соложенцев, Е. Д. Технологии управления риском в структурно-сложных системах : учеб. пос. Е. Д. Соложенцев. – Санкт-Петербург : ГУАП, 2013. – 435 с.
11. Чернышева, К. С. Каскадирование целей в стратегическом управлении: опыт группы компаний Black Star

References

1. Bondareva, I., Khanova, A., Khanova, Y. Configuring Systems Based on Petri Nets, Logic-Probabilistic, and Simulation Models. *Cyber-Physical Systems: Modelling and Intelligent Control. Studies in Systems, Decision and Control.* Springer, Cham., 2021, vol. 338. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66077-2_21.
2. Ho, M. W., Ho (David), K. H. Risk management in large physical infrastructure investments: the context of seaport infrastructure development and investment. *Maritime Econom. Log.*, 2006, no. 8 (2), pp. 140–168. <https://doi.org/10.1057/palgrave.mel.9100153>.
3. Bondareva, I. O., Shendo, M. V., Luneva, T. V., Khanova, A. A. Logical-probabilistic and simulation modeling as a toolkit for complex analysis and risk management of a cargo port. *E3S Web Conf.*, 2020, no. 224, p. 02027. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022402027>
4. Protalinsky, O., Khanova, A., Bondareva, I., Averianova, K., Khanova, Y. Cognitive Model of the Balanced Scorecard of Manufacturing Systems. *Recent Research in Control Engineering and Decision Making. ICIT 2020. Studies in Systems, Decision and Control.* Springer, Cham., 2021, vol. 337. https://doi.org/10.1007/978-3-030-65283-8_47.
5. Solozhentsev, E. Logic and probabilistic risk models for management of innovations system of country. *International Journal of Risk Assessment and Management*, 2015, vol. 18, iss. 3–4, pp. 237–255. <https://doi.org/10.1504/IJRAM.2015.071211>.
6. Solozhentsev, E., Karasev, V. Hybrid logical and probabilistic models for management of socioeconomic safety. *International Journal of Risk Assessment and Management*, 2018, vol. 21, iss. 1–2, pp. 89–110. <https://doi.org/10.1504/IJRAM.2018.090258>.
7. Bondareva, I. O. Upravlenie riskami transportno-logisticheskogo predpriyatiya na osnove logiko-veroyatnostnogo i imitatsionnogo modelirovaniya [Risk management of a transport and logistics enterprise based on logical-probabilistic and simulation modeling]. *Matematicheskoe i kompyuternoe modelirovanie v ekonomike, strakhovanii i upravlenii riskami* [Mathematical and computer modeling in economics, insurance and risk management], 2020, no. 5, pp. 29–35.
8. Bondareva, I. O., Khanova, A. A., Khanova, Yu. A. Configuring systems based on petri nets, probabilistic logic and simulation models [Configuring systems based on petri nets, probabilistic logic and simulation models]. *Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyakh – MMTT* [Mathematical methods in engineering and technology - MMTT], 2020, vol. 12–2, pp. 121–126.
9. Nedosekin, A. O., Abdulaeva, Z. I. *Upravlenie korporativnymi riskami i shansami : uchebnyy kurs* [Corporate risk and chance management : training course]. Saint Petersburg, 2010. 125 p.
10. Solozhentsev, E. D. *Tekhnologii upravleniya riskom v strukturno-slozhnykh sistemakh : uchebnoe posobie* [Risk management technologies in structurally complex systems :tutorial]. Saint Petersburg, GUAP, 2013. 435 p.
11. Chernysheva, K. S., Koletvinova, E. Yu. Kaskadirovanie tseley v strategicheskoy upravlenii: opyt gruppy kompaniy Black Star [Cascading goals in strategic management: the experience of the Black Star group of companies]. *Vestnik Universiteta Pravitelstva Moskvy* [Moscow Government University Bulletin], 2020, no. 4 (50), pp. 36–40.

DOI 10.21672/2074-1707.2021.56.4.027-040
 УДК [004.02:342.95:528.88]:651.012.7

**ПРЕВЕНТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ
 ПО ДЕЛАМ ОБ АДМИНИСТРАТИВНЫХ ПРАВОНАРУШЕНИЯХ
 ПРИ КОНФЛИКТЕ СТОРОН И ДЕФИЦИТЕ РЕСУРСОВ**

Статья поступила в редакцию 12.06.2021, в окончательном варианте – 13.09.2021.

Миронов Алексей Юрьевич, Российский государственный гидрометеорологический университет, 195196, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98, аспирант, ORCID: 0000_0001_9489_8998, e-mail: wakepolarbear@gmail.com

Миронова Анна Юрьевна, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, студент, ORCID: 0000_0003_0148_3115, e-mail: milpandaaaa@gmail.com

Бурлов Вячеслав Георгиевич, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, доктор технических наук, профессор, ORCID: 0000_0001_7603_9786, e-mail: burlovvg@mail.ru

С целью обеспечения информационной безопасности в части полноты и достоверности административной практики, соблюдения в ней принципа разумного срока, настоящая статья рассматривает синтез системы управления производством по делам об административных правонарушениях в условиях противодействия участников. В отсутствие адекватно формализованной математической модели принятия управленческих решений, естественно-научным подходом на базе закона сохранения целостности объекта синтезирована для управления при дефиците ресурсов аналитическая зависимость, объединившая закономерности функционирования социальной и геоинформационных составляющих административной практики. Взаимодействие пуассоновских процессов в непрерывной цепи Маркова формализовало модель защитной и обеспечивающей подсистем управления административным производством. В результате моделирования система уравнений Колмогорова – Чепмена сформировала критерий существования превентивного управления, оптимизирующий параметры идентификации и нейтрализации проблем разумного срока под надлежащую эффективность производства. Для этого критерия сетевое моделирование вероятностных процессов позволяет конкретизировать структуру и функциональность процедур управления. Численные исследования синтезированной модели превентивного управления административным производством обеспечивают соотношение количества и качества затрат на идентификацию и нейтрализацию нарушений разумного срока с результативностью административной практики.

Ключевые слова: синтез управления, административная практика, естественно-научный подход, геоинформатика, геолокация, уравнения Колмогорова – Чепмена, сетевое моделирование

**PREVENTIVE MANAGEMENT IN PRODUCTION
 ON AFFAIRS ABOUT ADMINISTRATIVE OFFENSES
 WHEN PARTIES CONFLICT AND RESOURCES DEFICIENCY**

The article was received by the editorial board on 12.06.2021, in the final version – 13.09.2021.

Mironov Aleksey Yu., Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinskiy ave., St. Petersburg, 195196, Russian Federation, postgraduate student, ORCID: 0000_0001_9489_8998, e-mail: wakepolarbear@gmail.com

Mironova Anna Yu., Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29, Polytekhnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russian Federation, student, ORCID: 0000_0003_0148_3115, e-mail: milpandaaaa@gmail.com

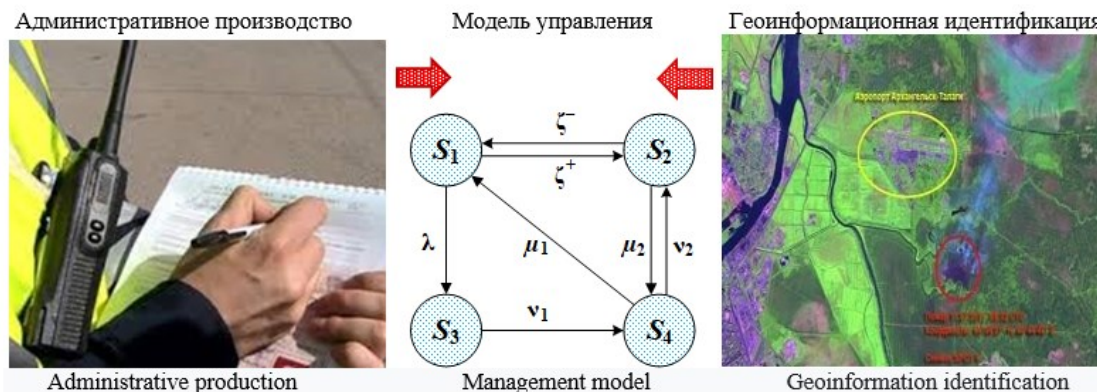
Burlov Vyacheslav G., Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29, Polytekhnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russian Federation, Doct. Sci. (Engineering), Professor, ORCID: 0000_0001_7603_9786, e-mail: burlovvg@mail.ru

In order to ensure information security in terms of the completeness and reliability of administrative practice, compliance with the principle of a reasonable time in it, this article considers the management system synthesis of production on affairs about administrative offenses in conditions of opposition from participants. In the absence of an adequately formalized mathematical model for making managerial decisions, a natural-scientific approach based on the law of maintaining the object integrity synthesized an analytical dependence for management with a shortage of resources, which combined the functioning regularities of the social and geoinformation components of administrative practice. The interaction of Poisson processes in a continuous Markov chain formalized the model of protective and supporting subsystems for managing administrative production. As a simulation result, the system of Kolmogorov – Chapman equations formed a criterion for the existence of preventive management, which optimizes

the parameters of identification and neutralization of problems within a reasonable time for the proper production efficiency. For this criterion, network modeling of probabilistic processes makes it possible to concretize the structure and functionality of management procedures. Numerical studies of the synthesized model of preventive management of administrative production make it possible to correlate the volume and quality of costs for the identification and neutralization of violations within a reasonable time with the effectiveness of administrative practice.

Keywords: management synthesis, administrative practice, natural-science approach, geoinformatics, geolocation, Kolmogorov – Chapman equations, network modeling

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. Производство по делам об административных правонарушениях представляет собой предусмотренную Кодексом РФ и региональными законами об административных правонарушениях деятельность 105 категорий должностных лиц, уполномоченных составлять протоколы, и 70 ведомств, уполномоченных рассматривать дела [1]. Ведомственный документооборот, опирающаяся на подшивание рукописных или печатанных документов в дело об административном правонарушении, остается крайне трудоемким и неэффективным, провоцирующим на нарушения разумного срока административного процесса. Подведомственные стадии производства реализуются и учитываются в административной практике обособленно, подручными методами и средствами. Отсутствие обратной связи при передачах дел по подведомственности или территориальности, автоматизированного механизма ведения и управления порождает неосторожно или умышленно объективные вменения, приостановления и прекращения производства без надлежащих оснований.

На фоне 7-кратного роста за постсоветский период числа выявленных правонарушений, административная практика характеризуется высокой латентностью до 3/4 от реально совершенных проступков и неуплатой более 2/5 административных штрафов [2]. Подобный коэффициент полезного действия указывает на кризисную неэффективность и разрушение целостности административного производства в части неполноты выявления существенных признаков правонарушений и исполнения наказаний, недостоверности доказывания события или состава при расследовании и рассмотрении дел о них.

В отсутствие профилактики, нерегулярная и запаздывающая реакция органов по исполнению административного законодательства на поток в 200 миллионов правонарушений за год придает административному производству репрессивный, карательно-фискальный смысл. По сути, правоохранители позволяют беспрепятственно нарушать административные законы и ориентированы собрать штрафы за оконченные деяния, не заботясь о минимизации наносимого ими ущерба [3]. Всеобщая неудовлетворенность административной практикой инициировала реформу административного законодательства, стремящуюся с 2022 года изменить направленность административного процесса на охранительную, риск-ориентированную. Преодоление кризиса административной практики особенно актуально в отношении правонарушений, следы которых скрыты особенностями местности или правонарушителями, а также в отношении недобросовестных участников производства, которые укрываются от субъектов административной юрисдикции. Административная профилактика, выявление и доказывание в разумный срок требуют геoinформационной защиты регламентным снабжением правоохранительных органов географическими координатами объектов на подведомственной территории, содержащих признаки подготовки к правонарушению или его совершения, для незамедлительного проведения по нему целевой проверки, предупреждения или пресечения вредных последствий и ущерба, сбора объективных доказательств события и состава [4]. Надлежащую интенсивность административного процесса при оперативном установлении местонахождения нарушителей с целью взятия обязательства, их принуждения или

привода к исполнению административного законодательства в разумный срок необходимо обеспечивать определением географических координат противодействующих участников производства с помощью геолокации их мобильных устройств или автотранспорта.

На геоинформационном мониторинге уже построено картографическое отражение обстановки в десятке геопорталов отечественных ведомств и корпораций: «Каскад», «Бриз» и «КосмоПлан» в МЧС России, ЛесЕГАИС в ФГКУ «Рослесинфорг», «Деметра» в Россельхознадзоре, «Оперативный мониторинг судоходства» в ФГУП «Атомфлот», «ЭРА-ГЛОНАСС» в АО «ГЛОНАСС» и др. Эксплуатируемые средства геоинформатики и геолокации пассивно отражают состояние проблем и объемы ущерба, но не способствуют их профилактике и предотвращению [5]. На стыке организации административной практики и ее геокоординирования назрела важная научная проблема обоснования системообразующих требований к структурным и функциональным характеристикам геоинформационного управления, превентивно обеспечивающего надлежащую эффективность производства по делам об административных правонарушениях в разумный срок.

Постановка задачи построения системы превентивного управления производством по делам об административных правонарушениях. В ходе реформы административного законодательства, ставящей целью сменить репрессивный характер административной практики на охранительный, предполагается разрешить неотложную научную проблему разработки технологичного механизма обеспечения производства по делам об административных правонарушениях в разумный срок, общепринятый учеными-процессуалистами в качестве интегрального критерия оптимальности и эффективности уголовной и административной практики [6]. Под разумным следует понимать срок, длительность которого является оптимальной по совокупности процессуальных сроков в смысле ее необходимости и достаточности с тем, чтобы ведение каждой стадии и всего административного процесса своевременно защищалось и обеспечивалось результативным принятием решений и выполнением процессуальных действий, гарантируя эффективную реализацию комплекса целей производства по делам об административных правонарушениях. Из потребности соблюдения принципа разумного срока вытекает задача итерационного синтеза превентивного управления функциями административного производства.

Административная статистика демонстрирует неспособность действующего Кодекса РФ об административных правонарушениях, как и согласуемого Процессуального кодекса в рамках принципа оперативности, исключительно нормативными запретами, ограничениями и исключениями внутри системы пресекательных и процессуальных сроков гарантировать эффективную интенсивность административной практики для субъектов административной юрисдикции и участников производства. Разрушение целостности административной практики, характеризуемое ее неполнотой и недостоверностью, вызвано потоком нарушений принципа разумного срока. Механизм ранней фиксации и надлежащего расследования административных правонарушений, минимизации их последствий необходим для трети составов Особенной части Кодекса РФ об административных правонарушениях или его проекта.

Разумный срок целевого возбуждения и расследования дел нарушается из-за высокой латентности реально совершенных правонарушений и необъективности доказывания состава. Прорывная защита от сокрытия правонарушений базируется на геоинформатике, которая ждет снабжения оптимальными интенсивностью и характеристиками геомониторинга [7]. Разумному сроку расследования и рассмотрения дел, исполнения наказаний противодействуют скрывающиеся участники производства. Их инновационное обнаружение для вовлечения в административные процедуры обеспечивается геолокацией, требующей ориентиров по интенсивности и параметрам.

В соответствии с теорией функциональных систем Анохина – Судакова лицо, принимающее решение, осуществляет процесс управления на основе модели, которая проявляется в цепи базовых элементов ее формирования: «возбуждение», «распознавание», «реакция на обстановку» [8]. В интенсивном потоке нарушений круг критериев лица, принимающего решение, которые оценивают целесообразность и логичность управленческого решения по нейтрализации проблем, существенно сокращается и опирается все более на интуицию. В реальной обстановке его выбор ограничивается также нехваткой ресурсов и активным противодействием иных участников производства. Актуальность настоящей работы обусловлена в условиях дефицита ресурсов и конфликта сторон отсутствием адекватной математической модели принятия управленческого решения, обеспечивающей сбалансированное единство закономерностей функционирования организационной и геоинформационных систем, построенной на базовых законах мироустройства в рамках универсального подхода к формализованному критерию для автоматизации превентивного управления.

Поддержание надлежащего уровня эффективности административной практики претендует на постановку потока дел об административных правонарушениях под единое итерационное управление за счет превентивных идентификации и нейтрализации угроз разумному сроку на основе

оптимизированного по интенсивности привлечения геоинформационных технологий [9]. Согласно полученным геоданным, должностное лицо вырабатывает управленческое решение, которое поручает уполномоченному правоохранителю производство необходимых процессуальных действий по отношению признаков правонарушения или участников производства. Информационно-аналитическая работа и принятие управленческого решения замыкают и самоорганизуют циклы геоинформационного мониторинга с целью ведения административного производства за разумный срок. Существующий парадокс неоптимального участия ресурсоемких геоинформатики или геолокации в принятии управленческих решений устраним реализацией обратных задач статистического синтеза структуры и функциональности подсистем управления, обеспечивающих производство по делам об административных правонарушениях в разумный срок с наперед заданной вероятностью.

Таким образом, с целью решения поставленной задачи построения системы превентивного управления административным производством настоящая статья целенаправленно и комплексно рассматривает реализацию следующих подзадач:

- сформировать структурный облик системы превентивного управления административным производством в конфликте сторон;
- синтезировать математическую модель принятия управленческого решения, превентивно обеспечивающего разумный срок в административном производстве при ограниченных ресурсах;
- обосновать и математически конкретизировать критерий существования превентивного управления в подсистемах, организующих при нехватке ресурсов надлежащую профилактику, результативное выявление, достоверное доказывание правонарушений и оперативное привлечение недобросовестных участников к административному процессу, исполнению административных наказаний;
- предложить технологию структурно-функционального синтеза идентификации и нейтрализации нарушений разумного срока в административной практике при дефиците ресурсов и конфликте сторон.

Структурный облик системы превентивного управления административным производством в конфликте сторон. В ходе моделирования административной практики следует учитывать, что в административном производстве принимают участие как минимум две стороны административно-процессуального правоотношения: субъект административной юрисдикции (орган по исполнению административного законодательства или уполномоченное им должностное лицо, судья, прокурор) и противодействующие участники производства (правонарушитель, представитель, защитник, свидетель, эксперт, специалист), объединенные умышленно или по неосторожности единым стремлением доведения до цели правонарушения. В общем случае, их взаимодействие рассматривается в виде конфликта с несовпадающими интересами. В зарождающейся конфликтологии конфликт представляется как наиболее острый способ разрешения противоречий столкнувшихся интересов и целей в процессе социального взаимодействия, сопровождающегося противодействием сторон. Стратегии поведения в конфликте ориентируют избегать активной конфронтации, искать компромиссные и взаимовыгодные пути преодоления [10].

Адекватность комплекса мероприятий субъекта административной юрисдикции по обеспечению информационной безопасности производства основана на осознании и познании окружающей обстановки и противодействия участников. Принятие управленческих решений для поддержания разумности срока функций административного процесса требует моделировать применение управления производством на протяжении всего жизненного цикла дел об административных правонарушениях. Успешность технологии познания и управления определяется адекватностью моделирования. Мерой адекватности математической модели выступает полнота учета ею закономерностей обеспечения разумного срока на базе закона сохранения целостности производства по делам об административных правонарушениях [11]. Косвенным подтверждением игнорирования этого закона в административной практике является нынешнее отсутствие технологий структурно-функционального синтеза превентивного управления административным производством.

Исходя из нацеленности на обеспечение разумного срока в условиях динамичной обстановки и ситуации в конфликте, жизненный цикл системы управления административным производством итерационно повторяет такие этапы, как уточнение облика системы, оптимизация ее подсистем, эксплуатация и непосредственное применение подсистем в ее составе. Под обликом системы понимают ее ключевые характеристики и отношения между подсистемами, определяющие возможности системы и механизмы их реализации.

На рисунке 1 представлена структурная схема разрешения конфликта между субъектом административной юрисдикции и противодействующими участниками производства по делам об административных правонарушениях. Под воздействием обстановки каждая из сторон

административного процесса формирует собственный интерес, соответствующий ее предназначению. Для отстаивания интереса стороной формируется система обеспечения. Система поддержки противодействующих участников административного производства пытается безнаказанно окончить административное правонарушение, сорвать разумные сроки процессуальных процедур административной практики в связи с ним, активно укрыть следы правонарушения и его последствий. Геоинформационная система управления субъекта административной юрисдикции стремится отработать в разумный срок целевые функции административного производства, достоверно выявить и доказать геоинформатикой признаки события и состава латентных правонарушений, оперативно обеспечивать геолокацией надлежащее принуждение к административному производству участников, уклоняющихся от процессуальных процедур.

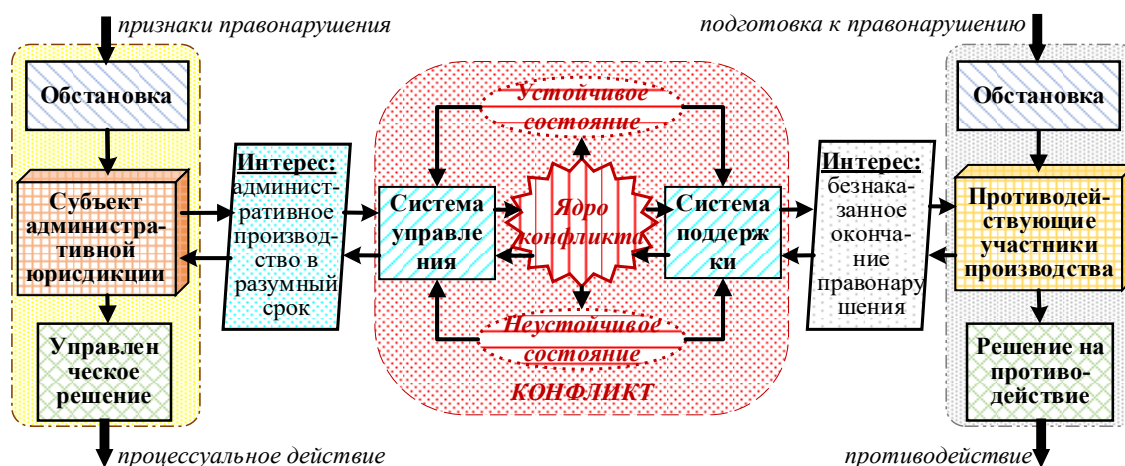


Рисунок 1 – Структурная схема разрешения конфликта сторон в административном производстве

Цель, вытекающая из интересов, достигается за счет разработки, развертывания и применения системы управления (поддержки). Показатель эффективности ее функционирования является мерой соответствия целевого предназначения. Механизмы формирования меры содержатся в ядре конфликта. Для получения количественных характеристик сложных динамических систем в конфликте целесообразно использовать подходы теории дифференциальных игр. Из-за неполноты теории позволяет установить лишь методы управления в виде условий перехода системы из одного состояния в другое. Только методология задает множества требуемых пространственно-временных состояний системы управления (поддержки) и определяет их свойства.

Формализация закона сохранения целостности, аккумулярованием потенциальной эффективности системы управления по требуемым пространственно-временным состояниям в районе сосредоточения ее основных усилий, сформировала инструмент разрешения конфликта. Согласно этому принципу системности, для синтеза облика и способов использования системы управления административным производством, реализующей возможности достижения целей на заданную эффективность применения I , во множестве требуемых пространственно-временных состояний Q необходимо и достаточно получить варьированием векторов управления U и возможностей V потенциал поля эффективности F , который удовлетворяет условию (1):

$$I(Q) = \int_Q F(U(r), V(r), r) dr, \quad (1)$$

где Q – множество требуемых пространственно-временных состояний в районе сосредоточения основных усилий системы управления, которое представляет модель ее действия; $Q \& R; R = X \cup T$ – множество допустимых пространственно-временных состояний r при достижении целей;

$F(r)$ – функция потенциала поля эффективности (производительности) системы управления, которая составляет ее модель (облик) в текущей ситуации; $r \in Q$;

$I(Q)$ – показатель потенциальной эффективности применения (степень реализации возможностей) системы управления для достижения целей, который замыкает модель ситуации и модель действия;

$V(r)$ – возможности системы управления, количественно и качественно характеризующие ее способность к достижению целей за установленное время в конкретной обстановке и обеспеченности ресурсами; $V(r) \in V^*$;

$U(r)$ – управление системой, заключающееся в целенаправленном воздействии на нее для обеспечения требуемой эффективности применения в различных условиях обстановки и обеспеченности ресурсами; $U(r) \in U^*$.

В противостоянии субъекта административной юрисдикции и противодействующих участников административного производства необходимо рассмотреть:

- 1) синтез облика и способов применения сторонами систем управления (поддержки) в условиях противодействия, их эволюцию согласно обстановке;
- 2) синтез облика и способов применения системы управления субъекта административной юрисдикции по геоинформации о противодействующих участниках административного производства;
- 3) прогнозирование развития сторонами их систем управления (поддержки).

На рисунке 2 показана структурная схема синтеза облика и способов применения систем управления (поддержки), отстаивающих интересы сторон.

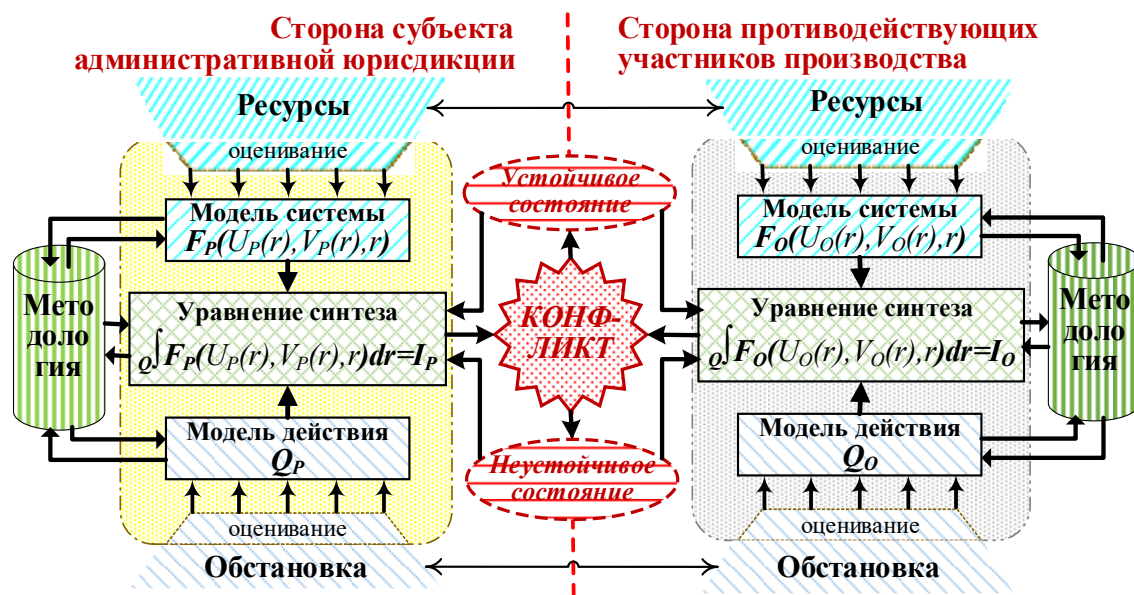


Рисунок 2 – Синтез облика систем управления (поддержки) сторон конфликта

В соответствии с рисунком 3 конфликтующая система управления (поддержки) максимально противодействует путем выполнения трех базовых функций: целевой, защитной, обеспечивающей. Попытки их дополнения порождают подобные по содержанию и назначению функции, которые следует учитывать в базовых. Для реализации базовых функций каждая сторона конфликта создает в рамках системы управления (поддержки) соответствующие подсистемы: целевую, защитную, обеспечивающую [12].

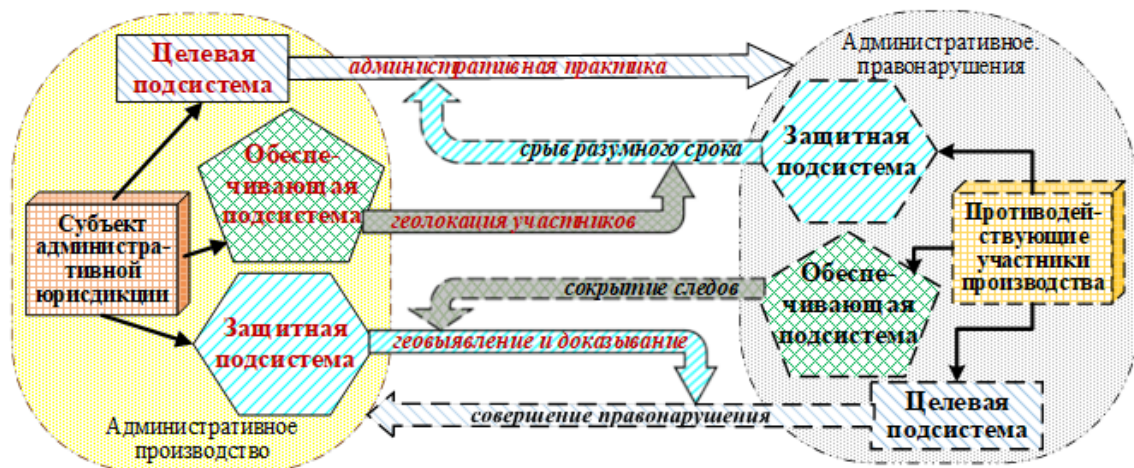


Рисунок 3 – Синтез облика систем управления (поддержки) сторон конфликта

Целевая подсистема предназначена для решения целевых задач на множестве пространственно-временных состояний: у субъекта административной юрисдикции – стадий административной практики, у противодействующих участников производства – этапов совершения административного правонарушения. На стороне субъекта административной юрисдикции она образует штатный стержень административного производства с собственным контрольно-надзорным механизмом и управляется в разумный срок за счет дополнения защитной и обеспечивающей подсистемами.

Одновременно целевому процессу защитная подсистема стороны стремится препятствовать целевой деятельности противника: субъект административной юрисдикции – превентивно выявить и доказать признаки события и состава латентных правонарушений, противодействующие участники производства – затянуть и сорвать разумный срок процессуальных процедур целевого вида административного производства. Защитная функция превалирует в активности стороны конфликта на стадиях возбуждения и расследования дел об административных правонарушениях. При рассмотрении дел и исполнении наказаний защитный эффект постепенно подавляется противником.

Разнонаправленность целевой и защитной функций каждого противника указывает на диалектическое противоречие реализующих подсистем. Для гармоничного их сосуществования и подавления эффекта противодействия естественно предположить у стороны наличие обеспечивающей подсистемы, снимающей противоречие: для субъекта административной юрисдикции – геолокацией участников производства гарантирующей их присутствие в административном процессе, для противодействующих участников производства – активно скрывающей и уничтожающей следы административного правонарушения и его последствий. Угнетая защитную деятельность противника в отношении собственного целевого процесса, обеспечивающая функция стороны конфликта усиливается от расследования административных дел к стадиям их рассмотрения и исполнения наказаний [13].

Физически обобщенные потенциалы поля эффективности $F(r)$ являются в каждом пространственно-временном состоянии r из множества Q & R функцией специальной комбинации трех производительностей (интенсивностей деятельности) целевой, защитной и обеспечивающей подсистем субъекта административной юрисдикции и противодействующих участников производства. При решении комплексной задачи синтеза модели и порядка функционирования системы синтез облика и способов гарантированного управления административным производством в конфликте сторон проходит следующие шаги:

1) исследование потенциально требуемых пространственно-временных состояний целевой, защитной и обеспечивающей подсистем на основе оценивания обстановки и организационно-технических возможностей, достигнутых ресурсами сторон;

2) формирование потенциала поля эффективности целевой, защитной и обеспечивающей подсистем на основе оценивания обстановки и организационно-технических возможностей, достигнутых сторонами из обеспеченности ресурсами;

3) построение отношений требуемых пространственно-временных состояний при защитной реакции системы из целевой и защитной подсистем, при обеспечивающей реакции системы из целевой и обеспечивающей подсистем;

4) обоснование видов, способов и форм действий, разработка базовых элементов замысла операции, решения на ее проведение в рамках концепции единства системы, цементируемой обеспеченностью ресурсами;

5) создание модели оценивания эффективности системы, обобщающей защитную и обеспечивающую реакции, на базе зависимости (1);

6) разработка предложений по структурному и функциональному наполнению целевой, защитной и обеспечивающей подсистем, исходя из обеспечения устойчивости системы управления в удовлетворении целевого предназначения согласно условию $I = [I_{min}, I_{max}]$, где I_{min} – минимально допустимая эффективности, ниже которой система утрачивает целевое предназначение, I_{max} – максимально возможная (предельная) эффективность системы.

Трехфункциональный облик превентивного управления административным производством в конфликтной борьбе с противодействием участников обращает системообразующее условие (1) в общесистемный критерий эффективности (2):

$$I = \frac{\sum_{i=1}^3 \lambda_i P_i}{\sum_{i=1}^3 \lambda_i} \geq I^* , \quad (2)$$

где i – индекс целевой, защитной, обеспечивающей реакции подсистемы управления на конфликт применением контрольно-надзорного, геоинформационного, геолокационного механизма соответственно в производстве по делам об административных правонарушениях;

λ_i – интенсивность потока появления проблем (нарушений) разумного срока в i -й подсистеме управления;

P_i – доля потока дел об административных правонарушениях, реализующая за разумный срок функциональность за счет i -й подсистемы управления;

I – показатель потенциальной эффективности применения (степень реализации возможностей) системы превентивного управления административным производством, который замыкает модель ситуации и модель действия уровнем I^* обобщенной доли проблем (нарушений), устраненных в разумный срок.

Синтез математической модели обеспечения разумного срока в административном производстве при ограниченных ресурсах. Функционально административный процесс – сетевой конвейер исполнения управленческих решений о производстве процессуальных процедур по делам, который движем на подведомственном участке мыслительной деятельностью должностного лица, уполномоченного субъектом административной юрисдикции. Ненадлежащий результат процессуальных процедур обоснован противоречивыми выводами и ведет к неоправданному перерасходу ресурсов, сопряженному со срывами разумного срока. Следование формальной аксиоматической концепции, исключающей произвол в рассуждениях, обеспечивает целостный учет закономерностей и существенных связей предметной области, давая адекватный инструмент ее осознанию и познанию в рамках индуктивно-дедуктивных выводов. Базовым постулатом в ней выступает законом сохранения целостности объекта окружающего мира, который используется санкт-петербургской научно-педагогической школой «Системная интеграция процессов государственного управления» и указывает на устойчивую повторяющуюся связь свойств объекта и свойств его действий при фиксированном предназначении [14].

Естественно-научный подход на рисунке 4 развертывает процессное осознание принятия управленческого решения при управлении производством по делам об административных правонарушениях в свете свойств объективности, изменчивости и целостности на каждом из трех уровней познания:

а) на методологическом уровне жизнедеятельность административного производства абстрактно представима Объектом в виде потока дел об административных нарушениях и его Действием в форме административной практики, затрудненной проблемами нарушений разумного срока. Продвижение дел осуществляется за счет использования ресурсов и инноваций, через целевые состояния функций производства к Предназначению исполнения в разумный срок административного законодательства;

б) на методическом уровне абстрактно-конкретно выделяются существенные условия по текущему обеспечению административного производства в разумный срок, которые взаимодействуют в принятии управленческого решения через пользование ресурсами с учетом их дефицита, моделируя появление Проблемы (Нарушения), ее Идентификацию и Нейтрализацию;

в) на технологическом уровне конкретно моделируется реализация процесса принятия управленческого решения в рамках обеспеченности ресурсами Целевого процесса и в условиях Срывов от дефицита ресурсов. Модель связывает Обстановку, характеризующую текущее состояние административного производства, Информационно-аналитическую работу, распознающую нарушения разумного срока, и собственно Управленческое решение, воплощающее Предназначение административного производства устранением нарушений.

Согласно естественно-научному подходу, на рисунке 5 формирование адекватной математической модели принятия управленческого решения заключается в познании формальной аналитической зависимости между тремя технологическими компонентами, декомпозированные элементы которых абстрагируются временными показателями [15]:

1) обстановка выделяет из состояний Объекта, факторов и условий его деятельности признаки Появления Проблем на фоне Целевого процесса штатного производства. Она абстрагируется средней периодичностью T_{Σ} Целевого процесса и среднестатистическим периодом $\Delta t_{\text{НП}}$ Появления Проблем;

2) информационно-аналитическая работа – непрерывное добывание, сбор, хранение, изучение, отображение и анализ данных о существенных признаках текущей Обстановки, указывающих на нарушения разумного срока. Она абстрагируется среднестатистическим периодом $\Delta t_{\text{НП}}$ Идентификации Проблем;

3) управленческое решение обеспечивает условия реализации предназначения производства в сложившейся Обстановке устранением нарушений разумного срока, выявленных Информационно-аналитической работой. Оно абстрагируется среднестатистическим периодом $\Delta t_{\text{НП}}$ Нейтрализации Проблем.

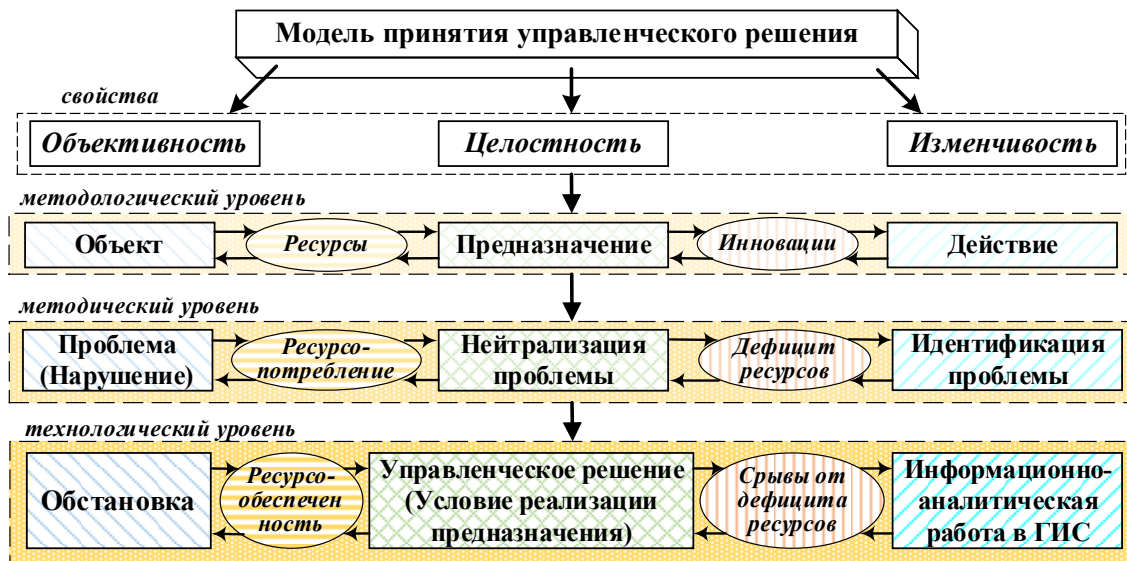


Рисунок 4 – Естественно-научный подход к осознанию принятия управленческого решения

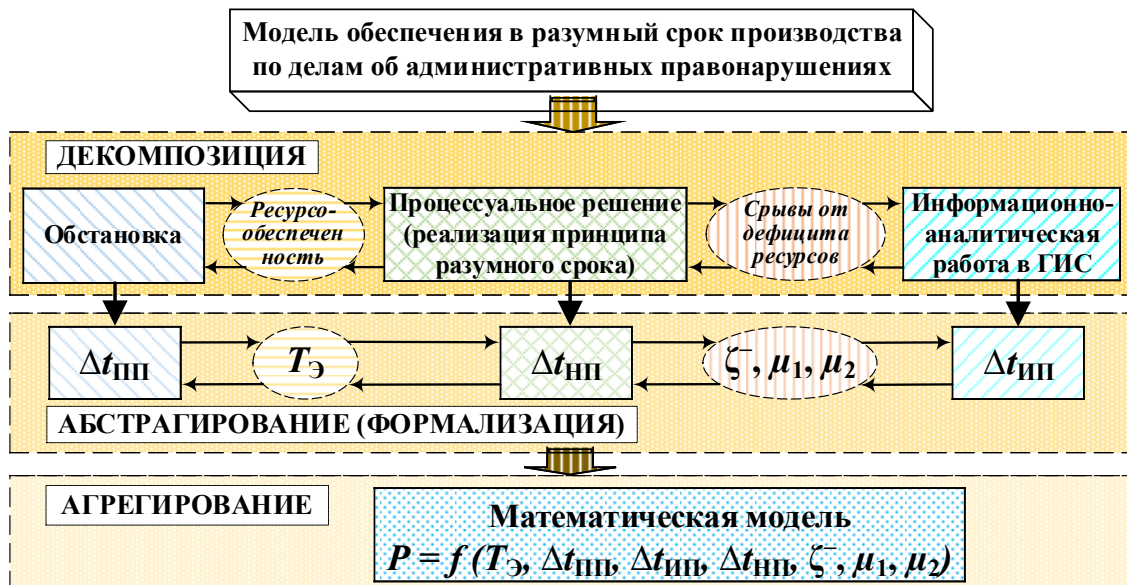


Рисунок 5 – Познание синтеза математической модели принятия управленческого решения

При дефиците ресурсов для производственных процессов с периодом T_{Σ} , $\Delta t_{ип}$, $\Delta t_{нп}$ вероятны срывы с частотой ζ , μ_1 , μ_2 соответственно.

Агрегированием временных характеристик существенных процессов административного производства и управления им, из процессной модели принятия управленческого решения синтезируется математический агрегат (3):

$$P = f(T_{\Sigma}, \Delta t_{пп}, \Delta t_{ип}, \Delta t_{нп}, \zeta, \mu_1, \mu_2), \quad (3)$$

где P – вероятность нахождения Объекта в каждом из базовых состояний административного производства.

Критерий существования подсистемы превентивного управления административным производством. Будучи организационной системой, производство по делам об административных правонарушениях функционирует в условиях стохастической неопределенности, когда многочисленные объективные и субъективные факторы порождают случайные во времени процессы. Их вероятностные характеристики заранее не известны и неопределенным образом постепенно изменяются с течением времени. Они определяются административной статистикой из промежуточных результатов производственных операций. Среднестатистический период прохождения через процесс дел об административных правонарушениях несет информацию о текущей длительности

процесса, информируя будущее управление о динамике прохождения в настоящем и прошлом. Следовательно, в обобщенном среднем времени процессы административного производства приводятся к случайным марковским с дискретными состояниями и непрерывным временем.

Каждое дело об административном правонарушении движется процессами административного производства через контрольные точки событий, определенных процессуальными разделами Кодекса. Значит, сквозь каждую контрольную точку проходит поток в виде последовательности однородных событий, следующих одно за другим в случайные моменты времени. В связи с отсутствием закономерности для объединения в группы, однородные события следуют в потоке поодиночке. В силу марковского видения ординарных потоков дел, процессы в административном производстве и управлении им близки к пуассоновским [16].

Исходя из трехкомпонентности естественно-научного подхода к моделированию принятия управленческого решения для защиты целевой деятельности от помех, в обеспечении разумного срока административного производства взаимодействуют четыре квазипуассоновских процесса, сопровождаемые срывами. В схеме управления административным производством на рисунке 6 за счет обеспеченности ресурсами реализуется Целевой процесс. При просрочке разумного срока его осуществления административная практика срывается в исходное состояние продлением или прекращением производства. Целевой поток объективно сопровождается потоком Появления Проблем, возбуждающих нарушения разумного срока. В терминах теории функциональных систем Анохина-Судакова подсистема управления реализует структурные комбинации функций по их Идентификации на основе инноваций и Нейтрализации. В условиях дефицита ресурсов управленческие процессы над нарушениями разумного срока осложняются вероятными срывами в начальные состояния.

Непрерывная цепь Маркова, моделирующая управление административным производством, характеризуется вероятностями нахождения в одном из 4 базовых состояний, связанных интенсивностями переходов $\zeta^+=1/T_3$, $\lambda=1/\Delta t_{\text{ИП}}$, $\nu_1=1/\Delta t_{\text{ИП}}$, $\nu_2=1/\Delta t_{\text{ИП}}$ и частотами срывов ζ^- , μ_1 , μ_2 [17]. На рисунке 7 базовые состояния графа управления обозначены так: S_1 – начальное; S_2 – целевое; S_3 – Идентификации; S_4 – Нейтрализации.

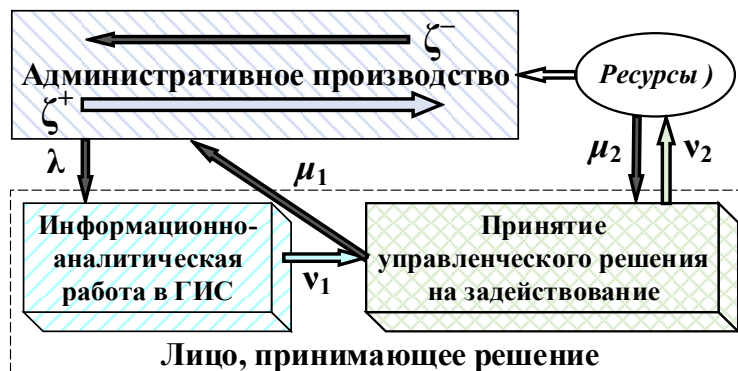


Рисунок 6 – Схема управления административным производством

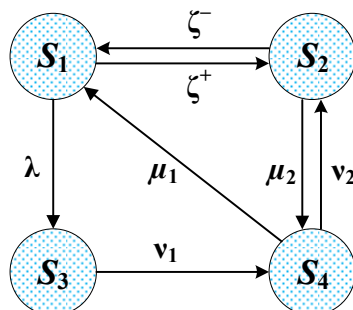


Рисунок 7 – Граф состояний

Пуассоновский характер процессов административного производства и управления им позволяют использовать для размеченного графа состояний непрерывной цепи Маркова систему (4) дифференциальных уравнений Колмогорова – Чепмена при ограничении $P_1(t)+P_2(t)+P_3(t)+P_4(t) = 1$:

$$\begin{aligned}
 dP_1(t)/dt &= -[\zeta^+ + \lambda]P_1(t) + \zeta^- P_2(t) + \mu_1 P_4(t); \\
 dP_2(t)/dt &= \zeta^+ P_1(t) - [\zeta^- + \mu_2]P_2(t) + \nu_2 P_4(t); \\
 dP_3(t)/dt &= \lambda P_1(t) - \nu_1 P_3(t); \\
 dP_4(t)/dt &= \mu_2 P_2(t) + \nu_1 P_3(t) - [\nu_2 + \mu_1]P_4(t).
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Со временем пуассоновские процессы стремятся к предельному стационарному режиму, а дифференциальные уравнения Колмогорова – Чепмена (4) с ограничением переходят в систему линейных однородных алгебраических уравнений [18]. Их решение методом Крамера дает системообразующие факторы (5) управления административным производством в условиях дефицита ресурсов:

$$\begin{aligned}
 P_1 &= \frac{\zeta^- \nu_1 \nu_2 + \nu_1 \mu_1 (\zeta^- + \mu_2)}{\zeta^- \nu_2 (\lambda + \nu_1) + \mu_1 (\lambda + \nu_1) (\zeta^- + \mu_2) + \nu_1 (\zeta^+ + \lambda) (\nu_2 + \mu_2) + \nu_1 (\zeta^+ \mu_1 + \zeta^- \lambda)}; \\
 P_2 &= \frac{\nu_1 \nu_2 (\zeta^+ + \lambda) + \zeta^+ \nu_1 \mu_1}{\zeta^- \nu_2 (\lambda + \nu_1) + \mu_1 (\lambda + \nu_1) (\zeta^- + \mu_2) + \nu_1 (\zeta^+ + \lambda) (\nu_2 + \mu_2) + \nu_1 (\zeta^+ \mu_1 + \zeta^- \lambda)}; \\
 P_3 &= \frac{\zeta^- \lambda \nu_2 + \lambda \mu_1 (\zeta^- + \mu_2)}{\zeta^- \nu_2 (\lambda + \nu_1) + \mu_1 (\lambda + \nu_1) (\zeta^- + \mu_2) + \nu_1 (\zeta^+ + \lambda) (\nu_2 + \mu_2) + \nu_1 (\zeta^+ \mu_1 + \zeta^- \lambda)}; \\
 P_4 &= \frac{\nu_1 \mu_2 (\zeta^+ + \lambda) + \zeta^- \lambda \nu_1}{\zeta^- \nu_2 (\lambda + \nu_1) + \mu_1 (\lambda + \nu_1) (\zeta^- + \mu_2) + \nu_1 (\zeta^+ + \lambda) (\nu_2 + \mu_2) + \nu_1 (\zeta^+ \mu_1 + \zeta^- \lambda)}.
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Из соотношений (5), определяющих вероятности пребывания в каждом из состояний графа на рисунке 7, и опыта статистики, отслеживающего предельные доли времени (потока дел) в ключевых состояниях административной практики, формулируется критерий существования подсистемы превентивного управления административным производством [19]. Например, если на стадии рассмотрения административных дел и исполнения административных наказаний требуется доля не менее P^* от среднестатистической длительности (части потока дел) административного производства, то выявление и доказывание правонарушений любой латентности осуществляется защитной подсистемой управления в разумный срок при условии (6):

$$\frac{\nu_1 \nu_2 (\zeta^+ + \lambda) + \zeta^+ \nu_1 \mu_1}{\zeta^- \nu_2 (\lambda + \nu_1) + \mu_1 (\lambda + \nu_1) (\zeta^- + \mu_2) + \nu_1 (\zeta^+ + \lambda) (\nu_2 + \mu_2) + \nu_1 (\zeta^+ \mu_1 + \zeta^- \lambda)} \geq P^*. \tag{6}$$

Технология структурно-функционального синтеза идентификации и нейтрализации нарушений разумного срока в административной практике. Технологическая реализация идентификации и нейтрализации нарушений разумного срока строится, в рамках структурно-функционального подхода к структурированию и параметризации системы управления, сетевым моделированием процессов, составляющих целевую, защитную и обеспечивающую цепи Маркова. Определяющим условием поведения управленческих процессов в организационной системе является их неравномерная самоорганизация. Только когда неустойчивое равновесие управленческого процесса грозит потерей функциональной устойчивости, возникает самоорганизующаяся потребность переформирования его структуры в более эффективную. В промежуточный период устойчивого равновесия функциональности управленческий процесс довольствуется параметрической оптимизацией на вызовы обстановки [20].

В ходе статистического обследования административной практики выявляется текущая Обстановка в виде среднестатистических периодов:

- эксплуатации в потоке дел Целевого процесса за счет нормативно выделенных ресурсов $T_3 = 1/\zeta^+ = f_{\zeta^+}(t_{\lambda 0}, t_{\lambda 1}, \dots, t_{\lambda p})$ как критического пути по сетевой модели из p работ X_i к выполнению задач функции административных производств;
- наблюдения признаков Появления Проблем обеспечения административного производства в разумный срок $\Delta t_{\text{ПП}} = 1/\lambda = f_{\lambda}(t_{\lambda 0}, t_{\lambda 1}, \dots, t_{\lambda n})$ как критического пути по сетевой модели из n работ A_i , порождающей нарушение разумного срока.

В условиях критических ограничений резервных ресурсов Обстановка отягощается срывами работы частотой $\mu_1 = f_{\mu_1}(v_1)$ и $\mu_2 = f_{\mu_2}(v_2)$, определяемыми долями интенсивностей Идентификации и Нейтрализации.

В рамках критерия (6) существования целевой, защитной или обеспечивающей подсистемы превентивного управления производством по делам об административных правонарушениях при текущей Обстановке, формируется применением контрольно-надзорного механизма, геоинформатики или геолокации структура и функциональность процессов:

- Идентификации с периодом $\Delta t_{\text{ИП}} = 1/v_1 = f_{v_1}(t_{B0}, t_{B1}, \dots, t_{Bk})$, который оценивается через критический путь по сетевой модели из k процедур B_i , превентивно распознающей нарушения разумного срока;
- Нейтрализации с периодом $\Delta t_{\text{НП}} = 1/v_2 = f_{v_2}(t_{C0}, t_{C1}, \dots, t_{Cm})$, который оценивается через критический путь по сетевой модели из m процедур C_i , гарантированно устраняющей нарушения разумного срока.

Исходными данными при оценивании временных параметров сетевой модели служат среднестатистические продолжительности процедур, переводящих процесс из одного события в другое. В условиях стохастической неопределенности математическое ожидание и дисперсия длительности процедур рассчитываются по формулам аппроксимирующего закона нормального или бета-распределения [21]. Он с точностью до числовых характеристик, достаточной для целей моделирования, аппроксимирует законы распределения продолжительностей всех процедур моделируемого процесса. При достаточно большом количестве процедур, участвующих в процессе, можно утверждать, а при малом – предполагать, что длительность критического пути в сетевой модели подчиняется нормальному закону распределения [22]. Через интегральную функцию Лапласа из математического ожидания и дисперсии критического пути оценивается длительность процесса с детерминированной степенью уверенности в его осуществлении.

Следовательно, явно увязав в структуре сетевой модели процесса процедурные переходы и затрачиваемое на них время, сетевое моделирование позволяет по критическому пути каждого из процессов оценить периоды T_{Σ} , $\Delta t_{\text{ИП}}$ и оптимизировать $\Delta t_{\text{ИП}}$, $\Delta t_{\text{НП}}$ под условие превентивного управления (6).

Заключение. Таким образом, в обстановке конфликта любой активности противодействующих участников производства по делам об административных правонарушениях, целевая практика в разумный срок субъекта административной юрисдикции превентивно управляется сопровождением ее целевой подсистемы с контрольно-надзорным механизмом защитной подсистемой на базе геоинформатики и обеспечивающей подсистемой на основе геолокации. Одновременно целевой подсистеме управления административной практикой защитная подсистема противодействует целевой деятельности правонарушителей ранним выявлением и достоверным доказыванием признаков события и состава латентных правонарушений за счет превентивного геоинформирования. В стремлении нивелировать защитную функцию противодействующих участников производства, обеспечивающая подсистема управления охраняет разумный срок административного процесса оперативным принуждением к участию в процессуальных процедурах за счет геолокационного поиска участников. В текущей Обстановке, характеризуемой интенсивностями Целевого процесса ζ^+ и Появления Проблем λ , при нормативно установленных уровнях максимально допустимой частоты срыва Целевого процесса ζ^- и минимально достаточной эффективности P^* , критерий эффективности (6) целевой, защитной или обеспечивающей подсистемы управления позволяет контролировать достаточность и оптимизировать интенсивности Информационно-аналитической работы v_1 и Управленческого решения v_2 путем рационализации продолжительностей переходов по их событиям с учетом срывов частотой μ_1 и μ_2 , мотивированных нехваткой ресурсов.

Библиографический список

1. Лунеев, В. В. Юридическая статистика / В. В. Лунеев ; Институт государства и права РАН. – Москва : Норма : ИНФРА-М, 2017. – 448 с.
2. Дерюга, А. Н. Причины латентности административных правонарушений / А. Н. Дерюга, И. Д. Мотрович // Административное право и процесс. – 2013. – № 7. – С. 57–62.
3. Миронов, А. Ю. Автоматизированная система управления производством по делам об административных правонарушениях на региональном уровне / А. Ю. Миронов // 69-я Международная студенческая научная конференция ГУАП : сб. докл. : в 2 ч. – Санкт-Петербург : ГУАП, 2016. – Ч. I. Технические науки. – С. 314–318.
4. Бурлов, В. Г. Управление процессом применения космической геоинформационной системы в интересах обеспечения экологической безопасности региона / В. Г. Бурлов, Н. Н. Попов, Х. А. Гарсия Эскалона Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – Санкт-Петербург : РГГМУ, 2018. – № 50. – С. 118–129.

5. Цветков, В. Я. Анализ применения космического мониторинга / В. Я. Цветков // Перспективы науки и образования. – 2015. – № 3 (15). – С. 48–55.
6. Полухин, В. М. Сущность разумного срока уголовного судопроизводства / В. М. Полухин // Общество: политика, экономика, право. – 2017. – С. 77–80.
7. Романов, И. А. Геоинформационный космический мониторинг / И. А. Романов // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. – № 2 (10). – С. 131–137.
8. Судаков, К. В. Эволюция терминологии и схем функциональных систем в научной школе П. К. Анохина / К. В. Судаков, И. А. Кузичев, А. Б. Николаев ; НИИ нормальной физиологии им. П. К. Анохина. – Москва : ООО «Европейские полиграфические системы», 2010. – 238 с.
9. Лепешкин, О. М. Синтез модели процесса управления техническими системами на основе теории радикалов / О. М. Лепешкин, М. О. Лепешкин, В. Г. Бурлов // Нейрокомпьютеры и их применение : тезисы докладов. – Москва : МГППУ, 2016. – С. 18-В.
10. Светлов, В. А. Конфликтология / В. А. Светлов, В. А. Семенов. – Москва : Юрайт, 2019. – 351 с.
11. Жуков, А. О. К вопросу стратегического планирования развития наукоемких предприятий / А. О. Жуков, В. Г. Бурлов, У. А. Пестун // Стратегическое планирование и развитие предприятий : материалы XVIII Всероссийского симпозиума. – Москва : ЦЭМИ РАН, 2017. – С. 935–939.
12. Матвеев, А. В. Аналитическая модель системы управления пожарной безопасностью АЭС / А. В. Матвеев, М. В. Иванов, А. Б. Шевченко // Научно-технические ведомости СПбГПУ: информатика, телекоммуникации, управление. – 2010. – № 6. – С. 91–95.
13. Mironov, A. Y. Preventive Management of Administrative Production when Resources Scarcity in the Parties Conflict / A. Y. Mironov, A. Y. Mironova, V. G. Burlov // Science. Education. Practice : proceedings of the International University Science Forum (Canada, Toronto), April 8, 2021. – Infinity Publishing, 2021. – Part 1. – P. 75–87.
14. Istomin, E. P. Risk Management Metod in Parametric Geosystems / E. P. Istomin, V. M. Abramov, V. G. Burlov, A. G. Sokolov, A. A. Fokicheva // 18th International Multidisciplinary Scientific Conference on Earth & Geosciences. – Albena : SGEM, 2018. – P. 377–384.
15. Бурлов, В. Г. Синтез модели управления производством по делам об административных правонарушениях / В. Г. Бурлов, А. Ю. Миронов, Я. В. Баранов // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2019. – № 3. – С. 22–34.
16. Галажинская, О. Н. Теория случайных процессов : в 2 ч. / О. Н. Галажинская, С. П. Моисеева. – Томск : ТГУ, 2015. – Ч. 1. – 128 с.
17. Лецкий, Э. К. Модели информационных процессов на основе дискретных процессов Маркова / Э. К. Лецкий. – Москва : МИИТ, 2014. – 25 с.
18. Burlov, V. G. Management of the application of the space geoinformation system in the interests of ensuring the environmental safety of the region / V. G. Burlov, N. N. Popov // Advances in the Astronautical Sciences. – 2017. – Vol. 161. – P. 751–760.
19. Бурлов, В. Г. Гарантированное управление производством по делам об административных правонарушениях с использованием геоинформационной системы / В. Г. Бурлов, А. Ю. Миронов, А. Ю. Миронова Research. – 2019. – Т. 1, № 3. – С. 200–210.
20. Гармаш, А. Н. Экономико-математические методы и прикладные модели / А. Н. Гармаш, И. В. Орлова, В. В. Федосеев ; под. ред. В. В. Федосеева. – Москва : Юрайт, 2019. – 328 с.
21. Заболотский, В. П. Математические модели в управлении / В. П. Заболотский, А. А. Оводенко, А. Г. Степанов. – Санкт-Петербург : ГУАП, 2001. – 196 с.
22. Попов, В. С. Новые варианты математического выражения относительных погрешностей измерений и средств измерений / В. С. Попов // Автоматика и телемеханика. – 2002. – № 12. – С. 166–173.

References

1. Luneev, V. V. *Yuridicheskaya statistika* [Juridistical statistics]. Moscow, INFRA-M, 2017. 448 p.
2. Deryuga, A. N., Motrovich, I. D. Prichiny latentnosti administrativnykh pravonarusheniy [The reasons of the latency administrative delictology]. *Administrativnoe pravo i process* [Administrative law and process], 2013, no. 7, pp. 57–62.
3. Mironov, A. Yu. Avtomatizirovannaya sistema upravleniya proizvodstvom po delam ob administrativnykh pravonarusheniyakh na regionalnom urovne [Automated management system of production on affairs about administrative offense at the regional level]. *69-ya mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya GUAP* [The 69th International Scientific Conference of State University of Aerospace Instrumentation]. St. Petersburg, 2016, vol. 1, pp. 314–318.
4. Burlov, V. G., Popov, N. N., Garsia Escalona, Kh. A. Upravlenie protsessom primeneniya kosmicheskoy geoinformatsionnoy sistemy v interesakh obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti regiona [Managing the process of application of space-based geographic information system to ensure environmental security in a region]. *Uchenye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta* [Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University]. St. Petersburg, 2018, no. 50, pp. 118–129.
5. Tsvetkov, V. Ya. Analiz primeneniya kosmicheskogo monitoringa [Analysis of space monitoring application]. *Perspektivy nauki i obrazovaniya* [Science and Education Perspectives], 2015, no. 3 (15), pp. 48–55.
6. Polukhin, V. M. Sushchnost razumnogo sroka ugovolnogo sudoproizvodstva [The essence of a reasonable time frame for criminal proceedings]. *Obshchestvo: politika, ekonomika, pravo* [Society: Politics, Economics, Law], 2017, no. 2, pp. 77–80.

7. Romanov, I. A. Geoinformacionnyy kosmicheskiy monitoring [Geoinformation space monitoring]. *Obrazovatelnye resursy i tekhnologii* [Educational Resources and Technologies], 2015, no. 2 (10), pp. 131–137.
8. Sudakov, K. V., Kuzichev, I. A., Nikolaev, A. B. *Evolutsiya terminologii i skhem funktsionalnykh sistem v nauchnoy shkole P. K. Anokhina* [Evolution of terminology and schemes of functional systems in the scientific school of P.K. Anokhin]. Moscow, LLC "European Printing Systems", 2010. 238 p.
9. Lepeshkin, O. M., Lepeshkin, M. O., Burlov, V. G. Sintez modeli protsessa upravleniya tekhnicheskimi sistemami na osnove teorii radikalov [Synthesis of a model of the process of control of technical systems based on the theory of radicals]. *Neyrokomp'yutery i ikh primenenie* [Neurocomputers and their applications], Moscow, 2016, p. 18-B.
10. Svetlov, V. A., Semenov, V. A. *Konfliktologiya* [Conflictology]. Moscow, Yurayt, 2019. 351 p.
11. Zhukov, A. O., Burlov V. G., Pestun U. A. K voprosu strategicheskogo planirovaniya razvitiya naukoemkikh predpriyatiy [On the issue of strategic planning for the development of knowledge-intensive enterprises]. *Strategicheskoe planirovanie i razvitie predpriyatiy : materialy XVIII Vserossiyskogo simpoziuma* [Strategic planning and development of enterprises : materials of the XVIII All-Russian symposium], Moscow, 2017, pp. 935–939.
12. Matveev, A. V., Ivanov, M. V., Shevchenko, A. B. Analiticheskaya model sistemy upravleniya pozharnoy bezopasnostyu AES [Analytical model of the NPP fire safety management system]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU: informatika, telekommunikatsii, upravlenie* [SPbSPU Scientific and Technical Bulletin: Informatics, Telecommunications, Management], 2010, no. 6, pp. 91–95.
13. Mironov, A. Y., Mironova, A. Y., Burlov, V. G. Preventive Management of Administrative Production when Resources Scarcity in the Parties Conflict. *Science, Education, Practice : proceedings of the International University Science Forum (Canada, Toronto), April 8, 2021*. Infinity Publishing, 2021, part 1, pp. 75–87. DOI: 10.34660/INF.2021.25.96.008.
14. Istomin, E. P., Abramov, V. M., Burlov, V. G., Sokolov, A. G., Fokicheva, A. A. Risk Management Metod in Parametric Geosystems. *18th International Multidisciplinary Scientific Conference on Earth & Geosciences*. Albena, SGEM, 2018, pp. 377–384. DOI: 10.5593/sgem2018/2.2/S08.048.
15. Burlov, V. G., Mironov, A. Yu., Baranov, Ya. V. Sintez modeli upravleniya proizvodstvom po delam ob administrativnykh pravonarusheniyakh [Synthesis of model of management of affairs about administrative offenses]. *Informatsionno-izmeritelnye i upravlyayushchie sistemy* [Information-measuring and control systems], 2019, no. 3, pp. 22–34. DOI: 10.18127/j20700814-201903-03.
16. Galazhinskaya, O. N., Moiseeva, S. P. *Teoriya sluchaynykh protsessov* [Theory of random processes]. Tomsk, Tomsk State University, 2015, part 1. 128 p.
17. Letskiy, E. K. Modeli informatsionnykh protsessov na osnove diskretnykh protsessov Markova [Models of information processes based on discrete Markov processes]. Moscow, 2014. 25 p.
18. Burlov, V. G., Popov, N. N. Management of the application of the space geoinformation system in the interests of ensuring the environmental safety of the region. *Advances in the Astronautical Sciences*, 2017, vol. 161, pp. 751–760.
19. Burlov, V. G., Mironov, A. Yu., Mironova, A. Yu. Garantirovannoe upravlenie proizvodstvom po delam ob administrativnykh pravonarusheniyakh s ispolzovaniem geoinformatsionnoy sistemy [Guaranteed management of production on affairs about administrative offenses using a geoinformation system]. *Global & Regional Research*, 2019, vol. 1, no. 3, pp. 200–210.
20. Garmash, A. N., Orlova, I. V., Fedoseev, V. V. *Ekonomiko-matematicheskie metody i prikladnye modeli* [Economic and mathematical methods and applied models]. Moscow, Yurayt Publ., 2019. 328 p.
21. Zabolotskiy, V. P., Ovodenko A. A., Stepanov A. G. *Matematicheskie modeli v upravlenii* [Mathematical models in management]. St. Petersburg, State University of Aerospace Instrumentation, 2001. 196 p.
22. Popov, V. S. Novye varianty matematicheskogo vyrazheniya otnositelnykh pogreshnostey izmereniy i sredstv izmereniy [New variants of mathematical expression of relative measurement errors and measuring instruments]. *Avtomatika i telemekhanika* [Automation and telemechanics], 2002, no. 12, pp. 166–173.

УДК 004.021

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАКРО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРОЙ РЕГИОНА

Статья поступила в редакцию 30.06.2021, в окончательном варианте – 23.08.2021.

Попов Павел Владимирович, Волжский филиал Волгоградского государственного университета, 404133, Российская Федерация, Волгоградская обл., г. Волжский, ул. 40 лет Победы, 11, кандидат технических наук, доцент, e-mail: donpascha@yandex.ru

Кравец Алла Григорьевна, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. Ленина, 28,

доктор технических наук, профессор, e-mail: agk@gde.ru

Прокопов Сергей Владимирович, Волгоградский филиал РЭУ имени Г.В. Плеханова, 400131, Российская Федерация, г. Волгоград, ул. Волгодонская, 11,

кандидат исторических наук, доцент, e-mail: prokopov_sv@mail.ru

В статье предложена модель системы управления макро-логистической инфраструктурой региона. Она включает в себя: внешнее задающее воздействие, подсистему принятия решений, объект управления, ретроспективные и диагностические метрики. Задающим воздействием в рамках системы выступают крупные инвесторы, федеральные программы и стратегии развития регионов. Подсистема принятия решений включает в себя региональный орган исполнительной власти, который с применением программного продукта, оказывает управляющее воздействие на объект управления. В рамках разработанной модели объектом управления является транспортная и складская региональная логистическая инфраструктура. Использование программного продукта исполнительным органом государственной власти позволяет выработать решения, направленные на поиск оптимального месторасположения ключевых объектов транспортной и складской инфраструктур, их количества и мощности. Влияние управляющего воздействия на объект управления осуществляется с помощью разработанного авторами интегрального показателя и количественных показателей федеральных программ и стратегий развития регионов. Эффективность принятых исполнительным органом государственной власти программ в области региональной инфраструктуры предлагается оценивать с помощью двух диагностических метрик сводного индекса региональной экономической активности и динамики социально-экономических показателей региона. Использование предложенной модели позволит выявить и устранить инфраструктурные ограничения, характерные для субъектов Российской Федерации.

Ключевые слова: система управления, подсистема принятия решений, объект управления, региональная логистическая инфраструктура, диагностирующая метрика

DEVELOPMENT OF A MODEL OF A MANAGEMENT SYSTEM FOR MACRO-LOGISTIC INFRASTRUCTURE OF THE REGION

The article was received by the editorial board on 30.06.2021, in the final version – 23.08.2021.

Popov Pavel V., Volzhsky Branch of Volgograd State University, 11 40 let Pobedy St., Volzhsky, 404133, Russian Federation.

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, e-mail: donpascha@yandex.ru

Kravets Alla G., Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation,

Doct. Sci. (Engineering), Professor, e-mail: agk@gde.ru

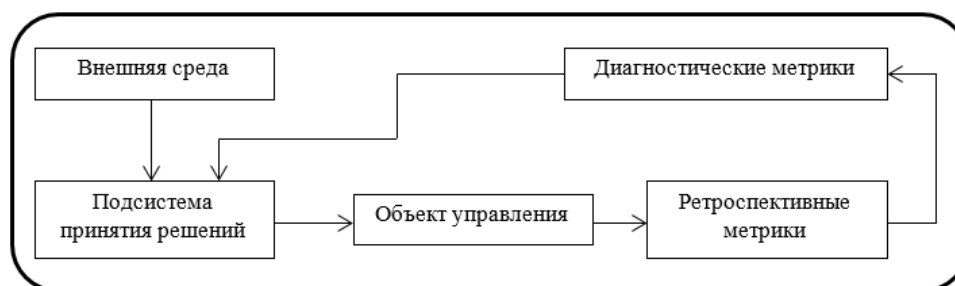
Prokopov Sergey V., Volzhsky Branch of Plekhanov Russian University of Economics, 11 Volgodonskaya St., Volgograd, 400131, Russian Federation

Cand. Sci. (History), Associate Professor, e-mail: prokopov_sv@mail.ru

The article proposes a model of the control system of the macro-logistic system of the region. It includes an external setting influence, a decision-making subsystem, a control object, retrospective and diagnostic metrics. Major investors, federal programs and regional development strategies act as the driving force on the system. The decision-making subsystem includes a regional executive body, which, taking into account the developed software product, has a controlling effect on the control object. Within the framework of the developed model, the object of management is the transport and warehouse regional logistics infrastructure. The use of the software product by the executive body of state power makes it possible to develop solutions aimed at finding the optimal location of key objects of transport and warehouse infrastructures, their number and capacity. The degree of influence of the control action on the control object is carried out using the integral indicator developed by the authors and the achievement of quantitative indicators of the Federal programs and strategies for the development of regions. The effectiveness of the programs in the field of regional infrastructure adopted by the executive body of state power is proposed to be assessed using two diagnostic metrics of the composite index of regional economic activity and the dynamics of socio-economic indicators of the region. The use of the proposed model will make it possible to identify and eliminate infrastructural limitations typical for the constituent entities of the Russian Federation.

Keywords: management system, decision-making subsystem, control object, regional logistics infrastructure, diagnostic metric

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. Исследования отечественных [1–4] и зарубежных [5–8] ученых свидетельствуют о значительном влиянии региональной логистической инфраструктуры на социально-экономические показатели субъектов стран. Ее развитие позволяет снизить издержки, связанные с продвижением материального потока, поддерживать заданный уровень обслуживания потребителей, повышать качество оказываемых услуг. Кроме этого, наличие достаточного количества современных ключевых объектов транспортной и складской инфраструктур повышает транзитный потенциал субъекта Российской Федерации, его инвестиционную привлекательность, межрегиональную интеграцию, а также стимулирует встраивание региона в глобальную цепочку поставок.

Принятие решения об инжиниринге существующей региональной логистической инфраструктуры может быть обусловлено как требованием бизнес-сообщества, так и необходимостью соблюдения требований федеральных законов в области создания условий комфортной среды для граждан и субъектов предпринимательской деятельности [9].

Если возникает необходимость в строительстве новых ключевых объектов логистической инфраструктуры, то вносятся изменения в территориальные схемы планирования и стратегии социально-экономического развития субъекта Российской Федерации [10].

Одним из инструментов реализации крупных региональных инфраструктурных проектов являются национальные проекты Российской Федерации. Для включения объекта основной составляющей логистической инфраструктуры в паспорт национального проекта органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации должны предоставить его руководителю информацию, обуславливающую необходимость реализации данного предложения, сроки его выполнения, объем финансового обеспечения, а также количественные значения социально-экономических показателей, на достижение которых направлен проект [11].

Для эффективного принятия решений в области реинжиниринга региональной инфраструктуры на территории субъекта РФ должна быть сформирована модель макроэкономической системы, состоящей из взаимоувязанной в едином процессе управления подсистемы принятия решений и звеньев логистической инфраструктуры. В качестве подсистемы принятия решений должен выступать орган исполнительной власти, реализующий комплекс управленческих функций и процедур, звеньев логистической инфраструктуры – обособленные объекты, выполняющие одну или несколько логистических функций [12].

Задачей системы управления макро-логистической инфраструктурой региона является разработка матрицы управляющего воздействия на объект управления, которое позволит на основе задающего внешнего воздействия перевести организационно-функциональную структуру субъекта РФ из первоначального состояния S_0 в состояние S_n за заданный временной интервал при выполнении набора редуцированных правил. Редуцированные правила представляют собой набор управленческих решений, направленных на достижение поставленных целей и задач.

Оптимальность данной системы следует определять на основе следующих критериев:

1. Результативность достижения количественных значений показателей, представленных в федеральных программах и стратегиях развития регионов.

2. Оптимальность по быстродействию (минимальное время для принятия управленческих решений при появлении задающих воздействий).

Важным элементом системы управления макро-логистической инфраструктурой региона является контроллинг принимаемых решений. Результат контроллинга – оценка эффективности функционирования региональной логистической инфраструктуры после оказания влияющего воздействия, инструмент контроля – диагностические и ретроспективные метрики.

Предлагаемая авторами модель системы управления макро-логистической инфраструктурой региона представлена на рисунке.



Рисунок – Модель системы управления макро-логистической инфраструктурой региона

Система управления макро-логистической инфраструктурой региона. Задающее воздействие (W) на систему управления региональной макро-логистической инфраструктурой региона представлено федеральными стратегиями и программами развития, а также крупными инвесторами и может быть задано в виде:

$$W = \{F, G\},$$

где F – матрица задающего воздействия федеральных программ и стратегий развития страны (региона) на систему управления региональной макро-логистической инфраструктурой;

G – матрица задающего воздействия крупных инвесторов на систему управления региональной макро-логистической инфраструктурой.

Федеральные программы и стратегии развития Российской Федерации направлены на эффективное решение задач в рамках поставленных целей, в том числе по важным направлениям социально-экономического развития страны (региона). С учетом определенных в программах и стратегиях развития целей разрабатывается система контроллинга, направленная на оценку эффективности реализуемых управленческих решений. Она включает в себя набор плановых критериев и показателей, выраженных в количественных шкалах, которые в сравнении с фактическими значениями позволяют оперативно вносить изменения в тактические и стратегические планы развития региона.

Задачи, представленные в федеральных программах и стратегиях развития и направленные на достижение поставленных целей, прямо или косвенно связаны с реализацией проектов в области повышения эффективности функционирования региональной логистической инфраструктуры.

Например, в проекте Стратегии развития торговли в Российской Федерации определены ключевые индикаторы, достижение которых будет свидетельствовать об эффективности реализации торговой политики в регионах России [9]. Основой их формирования выступали требования создания комфортной среды и эффективной торговой инфраструктуры, включающей наличие современных складских комплексов, транспортных парков и других объектов.

К целевым индикаторам были отнесены количество торговых объектов всех форматов на территории субъекта страны и обеспеченность торговыми объектами различных форматов на 1000 человек населения. Количественные значения индикаторов определены Постановлением Правительства РФ № 291 от 09.04.2016 г. [13].

Достижение установленных нормативных показателей напрямую связано с возможностью проектирования компаниями эффективных сетей распределения и цепей поставок на территории субъекта Российской Федерации. Основой построения каналов распределения является логистическая инфраструктура, уровень развития которой оказывает существенное влияние на эффективность их функционирования.

Таким образом, в Федеральных программах и стратегиях развития страны (региона) формируются требования к структуре и уровню развития логистической инфраструктуры, а задающее воздействие их на систему управления региональной макро-логистической системой региона может быть представлено в виде:

$$F = \|f_{\beta\gamma}(t_k)\|,$$

где $f_{\beta\gamma}(t_k)$ – γ -ный целевой ориентир ключевого индикатора β -го Федеральной программы или стратегии развития страны (региона) по состоянию на конец анализируемого периода времени t_k .

При выборе новых рынков сбыта крупные инвесторы оценивают не только его емкость, покупательскую способность целевой аудитории, уровень конкуренции и др., но и проводят анализ существующей логистической инфраструктуры, которая оказывает прямое влияние на построение сети распределения товаров или цепочек поставок, а следовательно, и на общие издержки.

Логистическая инфраструктура для крупных инвесторов представляет собой каркас, на основе которого оценивается эффективность принимаемых управленческих решений в области построения каналов сбыта и цепей поставок. Основными ее элементами являются звенья логистической системы, которые представляют собой в основном объекты складской, транспортной, информационной и финансовой инфраструктур. Исходя из принципа гибкости формируемых каналов распределения, а также непрерывно изменяющихся требований к поставщикам товаров со стороны потребителей, региональный рынок должен быть представлен достаточным количеством ключевых объектов основной и обеспечивающей составляющих логистической инфраструктуры. Это позволит повысить эффективность принимаемых решений в рамках сети распределения компании.

Взаимодействие между крупными инвесторами и исполнительным органом государственной власти может быть основано на предоставлении инвестиций в строительство ключевых объектов региональной логистической инфраструктуры и/или устранения административных барьеров при реализации бизнес-проектов на территории субъекта Российской Федерации.

Таким образом, задающее воздействие со стороны крупных инвесторов на систему управления макро-логистической системой региона может быть представлено в виде:

$$G = \{C_{и}, T_{и}, \Phi_{и}, I_{и}\},$$

где $C_{и}$ – матрица задающего воздействия крупных инвесторов на региональную складскую инфраструктуру;

$T_{и}$ – матрица задающего воздействия крупных инвесторов на региональную транспортную инфраструктуру;

$\Phi_{и}$ – матрица задающего воздействия крупных инвесторов на финансовую составляющую региональной инфраструктуры;

$I_{и}$ – матрица задающего воздействия крупных инвесторов на информационную составляющую региональной инфраструктуры.

В качестве целевых ориентиров, оказывающих влияние на принятие решений об изменении существующего уровня логистической инфраструктуры, следует принять количество, дислокацию, мощность и уровень технического оснащения складов общего пользования, логистических центров, распределительных центров и распределительно-подсортировочных складов, терминалов типа кросс-докинг, наличие подвижного состава различных видов транспорта, грузовых терминалов, транспортных парков и др.

Индикаторами оценки обеспечивающей составляющей могут выступать количество предприятий финансовой сферы, компаний, работающих в сфере интернет-аутсорсинга и др. Кроме этого, важным является количество и вид услуг, оказываемых ключевыми объектами логистической инфраструктуры, их стоимость.

Задающее воздействие внешней среды W поступает на подсистему принятия решения, после этого через утвержденные мероприятия в рамках принятых управленческих решений U влияет на объекты системы управления макро-логистической инфраструктуры региона.

Матрица управляющего воздействия U представляет собой совокупность управленческих решений, принятых в результате задающего воздействия внешней среды, представленных Федеральными программами и стратегиями развития региона, а также крупными инвесторами:

$$U = \{T_i, S_i\},$$

где T_i – управляющее воздействие на транспортную инфраструктуру региона по i -му внешнему воздействию;

S_i – управляющее воздействие на складскую инфраструктуру региона по i -му внешнему воздействию.

Подсистема принятия решений включает в себя управляющее устройство (программный продукт) и исполнительное устройство (исполнительный орган государственной власти). Управляющее устройство включает в себя две взаимосвязанные математические модели по решению задач в области построения эффективной региональной логистической инфраструктуры.

В зависимости от задающего внешнего воздействия государственный служащий вносит в управляющее устройство информацию о возможных местах расположения ключевых объектов складской и/или транспортной инфраструктуры, их мощностях и типах товароносителей, а также данные о местах расположения торговых объектов, поставщиков и производителей, их возможностей по поставке товаров, спросе на продукцию со стороны потребителей. Кроме этого, в программный продукт вносится информация о стоимости перевозки грузов от поставщиков/производителей до распределительно-подсортировочных складов и со складов до торговых точек, затратах на грузопереработку товаров на складе.

В результате использования программного продукта государственный служащий получает информацию об оптимальных местах расположения ключевых объектов основной составляющей (транспортной и складской) региональной логистической инфраструктуры, их мощности.

В соответствии с Градостроительным кодексом РФ [10] и другими законодательными и подзаконными актами исполнительный орган государственной власти инициирует внесение изменений в схемы территориального планирования субъекта Российской Федерации и/или муниципальных образований, стратегии социально-экономического развития региона в области формирования эффективной логистической инфраструктуры.

Влияние управляющего воздействия U на объект управления оценивается двумя ретроспективными метриками: интегральным показателем оценки уровня развития макро-логистической инфраструктурой региона и целевыми показателями стратегий и программ развития региона.

Изменения, вносимые в существующую региональную логистическую инфраструктуру, могут привести как к ухудшению ее функционирования, так и к ее развитию. Для оценки эффективности логистической инфраструктуры региона после влияния управляющего воздействия U предлагается использовать интегральный показатель, рассчитываемый по формуле:

$$I = \sum_{i=1}^N k * X_i * F,$$

где k – значимость соответствующего индекса;

X_i – степень выраженности фактора для субъекта;

F – наибольшее значение факторной нагрузки соответствующего индекса.

Индекс представляет собой совокупность показателей логистической инфраструктуры, сформированных по видам транспорта, объектам финансовой и информационной деятельности, экспортно-импортным операциям, видам инвестиций, обороту розничной торговли и т.д.

Управляющее воздействие U на объект управления следует считать эффективным, если в результате реализации выработанных исполнительным органом государственной власти мероприятий значение интегрального показателя увеличится по сравнению с первоначальным значением.

Если задающее воздействие на подсистему принятия решения представлено матрицей F целевых показателей федеральных программ и стратегий развития страны (региона), то эффективность принимаемых решений исполнительным устройством оценивается сопоставлением плановых показателей с фактическими, полученными в результате реинжиниринга региональной логистической инфраструктуры в момент окончания переходного процесса t_k .

В рамках представленной модели системы управления макро-логистической инфраструктурой региона время управляющего воздействия U на объект управления определяется данными федеральных программ и стратегий развития страны (региона). Если задающее воздействие G представлено крупными инвесторами, то длительность управляющего воздействия U на объект управления определяется временем реализации программ, утвержденных исполнительным органом государственной власти.

В момент окончания управляющего воздействия U на объект управления происходит реинжиниринг существующей региональной логистической инфраструктуры. В результате повышается инвестиционная привлекательность региона за счет возможностей для проектирования более эффективных сетей распределения и цепочек поставок, снижающих общие затраты и время товародвижения, повышения качества и количества оказываемых логистических услуг на территории субъекта страны. Кроме этого, у компаний расширяются возможности формировать каналы сбыта, учитывающие индивидуальные предпочтения потребителей.

Исследования российских и зарубежных ученых показали [14–17], что между социально-экономическими показателями субъекта страны и региональной логистической инфраструктурой существует прямая зависимость, которая может быть представлена в виде линейной модели множественной регрессии:

$$Y = b + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_px_p + e,$$

где Y – социально-экономический показатель региона;

b, b_1, \dots, b_p – параметры модели;

x_1, x_2, \dots, x_p – параметры основной составляющей региональной логистической инфраструктуры;

e – ошибка предсказания.

Исходя из вышеизложенного, качество принимаемых государственным органом исполнительной власти решений может быть оценено с помощью двух диагностирующих метрик: изменения годовых значений социально-экономических показателей региона и сводного индекса региональной экономической активности.

Заключение. Таким образом, в работе предложена модель системы управления макро-логистической инфраструктурой региона. Задающее воздействие внешней среды W на разработанную модель представлено федеральными стратегиями и программами развития, а также крупными инвесторами. Воздействие W поступает на подсистему принятия решения. Подсистема принятия решений включает в себя управляющее устройство (программный продукт) и исполнительное устройство (исполнительный орган государственной власти). Она влияет в рамках принятых управленческих решений U на объект управления. Влияние управляющего воздействия U на объект управления оценивается двумя ретроспективными метриками: интегральным показателем оценки уровня развития макро-логистической системы региона и целевыми показателями стратегий и программ развития региона. Качество управляющего воздействия U оценивается с помощью двух диагностирующих метрик: изменения годовых значений социально-экономических показателей региона и сводного индекса региональной экономической активности.

Библиографический список

1. Рахмангулов, А. Н. Оценка социально-экономического потенциала региона для размещения объектов логистической инфраструктуры / А. Н. Рахмангулов, О. А. Копылова // Экономика региона. – 2014. – № 2. – С. 254–263.
2. Кокурин, Д. И. Влияние логистической инфраструктуры на состояние экономики: региональный аспект / Д. И. Кокурин, К. Н. Назин // Логистика и управление цепями поставок. – 2011. – № 4 (45). – С. 57–97.
3. Гольская, Ю. Н. Оценка влияния транспорта на социально-экономическое развитие регионов / Ю. Н. Гольская, И. А. Кузнецова // Известия ИГЭА. – 2010. – № 5. – С. 61–64.
4. Манунин, А. Логистический подход к инфраструктуре как фактор экономического развития региона / А. Манунин // Логистика. – 2012. – № 11. – С. 22–24.
5. Carlucci, F. Infrastructure and logistics divide: regional comparisons between North Eastern & Southern Italy / F. Carlucci et al. // Technological and Economic Development of Economy. – 2017. – Vol. 23 (2). – P. 243–269.
6. Pinar, Hayaloglu. The Impact of Developments in the Logistics Sector on Economic Growth: The Case of OECD Countries / Pinar Hayaloglu // International Journal of Economics and Financial Issues. – 2015. – Vol. 5 (2). – P. 523–530.
7. Song, L. Port infrastructure and regional economic growth in China: A granger causality analysis / L. Song, J. Mi // Marit. Policy Manag. – 2016. – Vol. 43. – P. 456–468.
8. Song, L. Port infrastructure investment and regional economic growth in China: Panel evidence in port regions and provinces / L. Song, M. Van Geenhuizen // Transp. Policy. – 2014. – Vol. 36. – P. 173–183.
9. Проект Стратегии развития торговли в Российской Федерации до 2025 года. – Режим доступа: <https://cheladmin.ru/sites/default/files/n/page/54996/upload/strategiyarazvitiyatorgovli.pdf> (дата обращения 14.06.2021).
10. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ (ред. от 02.08.2019) (с изм. и доп., вступ. в силу с 13.08.2019) Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/ (дата обращения: 14.06.2021).
11. Постановление Правительства Российской Федерации от 31.10.2018 № 1288 с изм. и доп. «Об организации проектной деятельности в Правительстве Российской Федерации». – Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102485411> (дата обращения: 05.07.2021).
12. Федеральный закон от 31 июля 2020 г. № 254-ФЗ «Об особенностях регулирования отдельных отношений в целях модернизации и расширения магистральной инфраструктуры и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74350806/> (дата обращения: 05.07.2021).
13. Постановление Правительства Российской Федерации от 09.04.2016 № 291 «Об утверждении Правил установления субъектами Российской Федерации нормативов минимальной обеспеченности населения площадью торговых объектов и методики расчета нормативов минимальной обеспеченности населения площадью торговых объектов, а также о признании утратившим силу постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2010 г. № 754». – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_196669/afc7b028d9fa09d4bf4205a064b4055c4fd73986/ (дата обращения: 14.06.2021).
14. Попов, П. В. Оценка взаимосвязи показателей транспортно-логистической инфраструктуры и социально-экономического развития региона / П. В. Попов // Транспорт: наука, техника, управление. – 2018. – № 8. – С. 3–6.
15. Попов, П. В. Оценка влияния основных экономических показателей на выбор месторасположения складов общего назначения на примере Волгоградской области / П. В. Попов, И. Ю. Мирецкий // Логистика. – 2015. – № 5 (102). – С. 52–56.

16. Гольская, Ю. Н. Оценка влияния транспорта на социально-экономическое развитие регионов / Ю. Н. Гольская, И. А. Кузнецова // Известия ИГЭА. – 2010. – № 5. – С. 61–64.

17. Popova, O. Algorithms of data clustering in assessing the transport infrastructure of the region / O. Popova, E. Kuznetsova, T. Sazonova // Business Technologies for Sustainable Urban Development : International Science Conference SPbWOSCE-2017. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201817005006>.

References

1. Rakhmangulov, A. N., Kopylova, O. A. Otsenka socialno-ekonomicheskogo potentsiala regiona dlya razmeshcheniya obektov logisticheskoy infrastruktury [Assessment of the socio-economic potential of the region for the placement of logistics infrastructure facilities]. *Ekonomika regiona* [Economy of the Region], 2014, no. 2, pp. 254–263.

2. Kokurin, D. I., Nazin, K. N. Vliyanie logisticheskoy infrastruktury na sostoyanie ekonomiki: regionalnyy aspekt [Influence of logistics infrastructure on the state of the economy: regional aspect]. *Logistika i upravlenie tsepyami postavok* [Logistics and Supply Chain Management], 2011, no. 4 (45), pp. 57–97.

3. Golskaya, Yu. N., Kuznetsova, I. A. Otsenka vliyaniya transporta na socialno-ekonomicheskoe razvitiye regionov [Assessment of the impact of transport on the socio-economic development of regions]. *Izvestiya IGEA* [Izvestiya IGEA], 2010, no. 5, p. 61–64.

4. Manunin, A. Logisticheskyy podkhod k infrastrukture kak faktor ekonomicheskogo razvitiya regiona [Logistic approach to infrastructure as a factor in the economic development of the region]. *Logistika* [Logistics], 2012, no. 11, pp. 22–24.

5. Carlucci, F et al. Infrastructure and logistics divide: regional comparisons between North Eastern & Southern Italy. *Technological and Economic Development of Economy*, 2017, vol. 23 (2), pp. 243–269.

6. Pinar, Hayaloglu. The Impact of Developments in the Logistics Sector on Economic Growth: The Case of OECD Countries. *International Journal of Economics and Financial Issues*, 2015, vol. 5 (2), pp. 523–530.

7. Song, L.; Mi, J. Port infrastructure and regional economic growth in China: A granger causality analysis. *Marit. Policy Manag.*, 2016, vol. 43, pp. 456–468.

8. Song, L., Van Geenhuizen, M. Port infrastructure investment and regional economic growth in China: Panel evidence in port regions and provinces. *Transp. Policy*, 2014, vol. 36, pp. 173–183.

9. *Proekt Strategii razvitiya torgovli v Rossiyskoy Federatsii do 2025 goda* [Draft Strategy for the Development of Trade in the Russian Federation until 2025]. Available at: <https://cheladmin.ru/sites/default/files/n/page/54996/upload/strategiyarazvitiyatorgovli.pdf> (accessed 05.07.2021).

10. *Gradostroitelnyy kodeks Rossiyskoy Federatsii ot 29.12.2004 № 190-FZ (red. ot 02.08.2019, s izmeneniyami i dopolneniyami, vstup. v silu s 13.08.2019)* [Urban Planning Code of the Russian Federation "dated December 29, 2004 N 190-FZ (as amended on 08/02/2019)]. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/ (accessed 05.07.2021).

11. *Postanovlenie Pravitelstva Rossiyskoy Federatsii ot 31.10.2018 № 1288 s izmeneniyami i dopolneniyami «Ob organizatsii proektnoy deyatel'nosti v Pravitelstve Rossiyskoy Federatsii»* [Decree of the Government of the Russian Federation of October 31, 2018 No. 1288 as amended. and add. "On the organization of project activities in the Government of the Russian Federation"]. Available at: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102485411> (accessed 05.07.2021).

12. *Federalnyy zakon ot 31 iyulya 2020 g. № 254-FZ «Ob osobennostyakh regulirovaniya otdelnykh otnosheniy v tselyakh modernizatsii i rasshireniya magistralnoy infrastruktury i o vnesenii izmeneniy v otdelnye zakonodatelnye akty Rossiyskoy Federatsii»* (Federal Law of July 31, 2020 No. 254-FZ "On the specifics of regulation of certain relations in order to modernize and expand the backbone infrastructure and on amendments to certain legislative acts of the Russian Federation"). Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74350806/> (accessed 05.07.2021).

13. *Postanovlenie Pravitelstva Rossiyskoy Federatsii ot 09.04.2016 № 291 «Ob utverzhenii Pravil ustanovleniya subektami Rossiyskoy Federatsii normativov minimalnoy obespechennosti naseleniya ploshchadyu torgovykh obektov i metodiki rascheta normativov minimalnoy obespechennosti naseleniya ploshchadyu torgovykh obektov, a takzhe o priznanii utrativshim silu postanovleniya Pravitelstva Rossiyskoy Federatsii ot 24 sentyabrya 2010 g. № 754»* [Decree of the Government of the Russian Federation of 09.04.2016 No. 291 "On approval of the Rules for establishing by the constituent entities of the Russian Federation standards for the minimum provision of the population with the area of retail facilities and the methodology for calculating the standards for the minimum provision of the population with the area of retail facilities, as well as on recognizing as invalid the resolution of the Government of the Russian Federation of 24 September 2010 No. 754"]. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_196669/afc7b028d9fa09d4bf4205a064b4055c4fd73986/ (accessed 05.07.2021).

14. Popov, P. V. Otsenka vzaimosvyazi pokazateley transportno-logisticheskoy infrastruktury i socialno-ekonomicheskogo razvitiya regiona [Assessment of the relationship between indicators of transport and logistics infrastructure and socio-economic development of the region]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie* [Transport: Science, Technology, Management], 2018, no. 8, pp. 3–6.

15. Popov, P. V., Miretskiy, I. Yu. Otsenka vliyaniya osnovnykh ekonomicheskikh pokazateley na vybor mestoraspolzheniya skladov obshchego naznacheniya na primere Volgogradskoy oblasti [Assessment of the influence of the main economic indicators on the choice of the location of general-purpose warehouses on the example of the Volgograd region]. *Logistika* [Logistics], 2015, no. 5 (102), pp. 52–56.

16. Golskaya, Yu. N., Kuznetsova, I. A. Otsenka vliyaniya transporta na socialno-ekonomicheskoe razvitiye regionov [Assessment of the impact of transport on the socio-economic development of regions]. *Izvestiya IGEA* [Izvestiya IGEA], 2010, no. 5, pp. 61–64.

17. Popova, O., Kuznetsova, E., Sazonova, T. Algorithms of data clustering in assessing the transport infrastructure of the region. *Business Technologies for Sustainable Urban Development : International Science Conference SPbWOSCE-2017*. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201817005006>.

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

УДК 004.62

О ТЕХНОЛОГИИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ И ПРОБЛЕМАХ ПРОВЕРКИ ДОСТОВЕРНОСТИ ИНФОРМАЦИИ ПО КАНАЛУ СВЯЗИ¹

Статья поступила в редакцию 26.08.2021, в окончательном варианте – 19.10.2021.

Багдасарян Рафаэль Хачикович, Краснодарский государственный институт культуры, 350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. 40-летия Победы, 33, кандидат технических наук, e-mail: rafaël_555@mail.ru

Осипян Валерий Осипович, Кубанский государственный университет, 350040, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149, доктор физико-математических наук, доцент, ORCID 0000-0001-6558-7998, e-mail: v.osipryan@gmail.com

Литвинов Кирилл Игоревич, Кубанский государственный университет, 350040, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149, аспирант, e-mail: lyrik-1994@yandex.ru

Сергеев Александр Евгеньевич, Краснодарский государственный институт культуры, 350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. 40-летия Победы, 33, магистрант, e-mail: alex_serg88@bk.ru

Шокола Елена Игоревна, Краснодарский государственный институт культуры, 350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. 40-летия Победы, 33, магистрант, e-mail: shokola.1998@mail.ru

Статья посвящена проблеме проверки достоверности информации при ее передаче по незащищенным каналам связи, обзревается технология и особенности передачи информации, демонстрируется преимущество использования и применения в распределенной информационной системы. Представлены модели передачи данных и проверки достоверности в открытых сетях и каналах связи с использованием алгоритмов симметричного и асимметричного преобразования информации. Приведена схема распределенной системы передачи информации с использованием гибридного преобразования. Его преимущество заключается в возможностях синтеза преимуществ систем, в работе которых используется открытый ключ с производительностью, которую может предоставить симметричная система. Симметричным методом происходит шифрование данных, а асимметричным ключом зашифровывается сам ключ с зашифрованными данными, что позволяет обеспечить дополнительную защиту передаваемой информации. В предлагаемом методе сочетаются как высокая производительность криптосистем, так и преимущества в области уровня защиты асимметричных методов. Технологию распределенной передачи данных и проверки достоверности сведений по общедоступной линии передачи необходимо описать множественной моделью, которая имеет функции, информационные элементы и их группы. Представленный способ дает возможность обеспечить надежность и высокую степень защиты данных при их передаче в открытых сетях.

Ключевые слова: передача данных, достоверность информации, прямое преобразование, обратное преобразование, канал связи, информационная система, распределенная информационная система, база данных, ключ, аутентикация, открытая сеть, симметричное преобразование информации, асимметричное преобразование информации

ABOUT THE TECHNOLOGY OF DISTRIBUTED DATA TRANSMISSION AND THE PROBLEMS OF VERIFYING THE RELIABILITY OF INFORMATION OVER A COMMUNICATION CHANNEL

The article was received by the editorial board on 26.08.2021, in the final version – 19.10.2021.

Bagdasaryan Rafael Kh., Krasnodar State Institute of Culture, 33 40-letiya Pobedy St., Krasnodar, 350072, Russian Federation, Cand. Sci. (Engineering), e-mail: rafaël_555@mail.ru

Osipyan Valeriy O., Kuban State University, 149 Stavropolskaya St., Krasnodar, 350040, Russian Federation,

Doct. Sci. (Physics and Mathematics), Associate Professor, ORCID 0000-0001-6558-7998, e-mail: v.osipryan@gmail.com

¹ Работа поддержана грантом РФФИ № 19-01-00596.

Litvinov Kirill I., Kuban State University, 149 Stavropolskaya St., Krasnodar, 350040, Russian Federation,

postgraduate student, e-mail: lyrik-1994@yandex.ru

Sergeev Alexander E., Krasnodar State Institute of Culture, 33 40-letiya Pobedy St., Krasnodar, 350072, Russian Federation,

undergraduate student, e-mail: alex_serg88@bk.ru

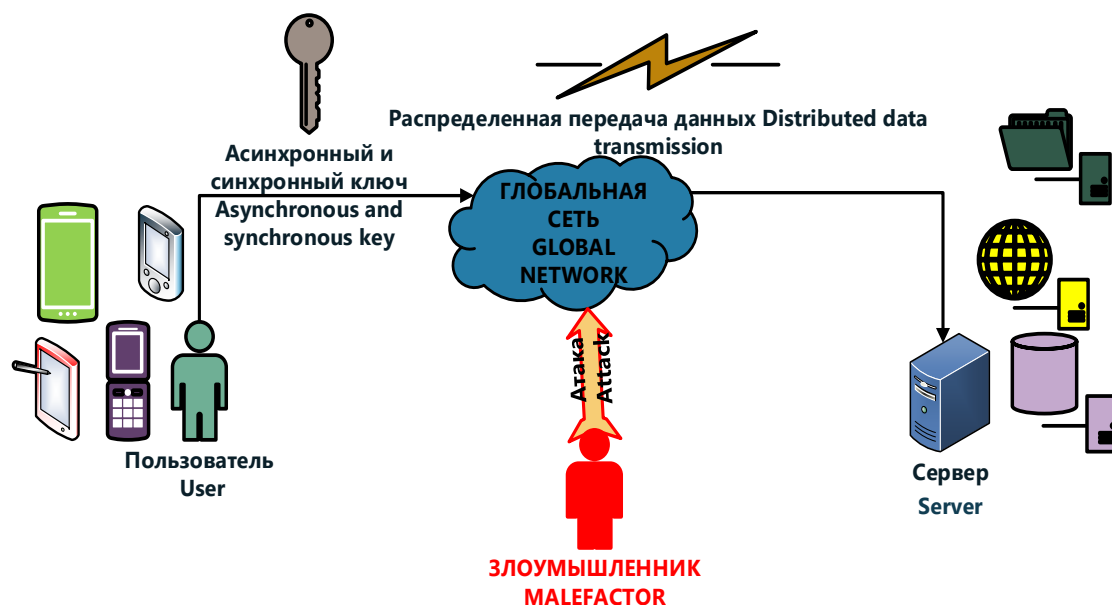
Shokola Elena I., Krasnodar State Institute of Culture, 33 40-letiya Pobedy St., Krasnodar, 350072, Russian Federation,

undergraduate student, e-mail: shokola.1998@mail.ru

The article is devoted to the problem of verifying the reliability of information during its transmission through unprotected communication channels, the technology and features of information transfer are reviewed, the advantage of using and applying in a distributed information system is demonstrated. Models of data transmission and validation in open networks and communication channels are presented, using algorithms for symmetric and asymmetric information transformation. A diagram of a distributed information transmission system with using hybrid transformation. Its advantage lies in the ability to synthesize the advantages of systems that use a public key with the performance that a symmetric system can provide. The data is encrypted using a symmetric method, and the key itself with encrypted data is encrypted with an asymmetric key, which allows for additional protection of the transmitted information. The proposed method combines both high performance of cryptosystems and advantages in the area of the protection level of asymmetric methods. The technology of distributed data transmission and validation of information over a public transmission line must be described by a multiple model, which has functions, information elements and their groups. The presented method makes it possible to ensure the reliability and high degree of data protection during their transmission in open networks.

Keywords: transmission, information reliability, direct transformation, inverse transformation, communication channel, information system, distributed information system, database, key, authentication, open network, symmetric information transformation, asymmetric information transformation

Графическая аннотация (Graphical annotation)



Введение. Планомерное развитие человеческого общества неразрывно связано с накоплением информации и ее сохранением. С ростом глобализации, возрасла роль обмена данных с использованием информационных носителей и распределенных технологий. По мере развития средств информационного обмена, стали развиваться и способы ее защиты. Появлялось бесчисленное количество методов шифрования сообщений. Чаще всего шифрованию подвергались военные сообщения и доклады, прочтение которых третьими лицами нельзя было допустить ни в коем случае. Однако в связи с тем, что один и тот же шифр начинали использовать большое количество людей, а также находились способы дешифровки без наличия ключа методом прослеживания определенных алгоритмов, шифры усложнялись. Возникла потребность в более тщательной защите информации. Востребованность сетевого информационного обмена создаёт потребность в систематизации и упорядочивании информационных ресурсов, с сохранением возможности интуитивного использования компьютерного интерфейса. В случае регулярных сбоях в системе распределения

информации по базам данных (БД), использование открытых сетей стало бы невозможным. Перед специалистами ИТ встают важные задачи распределения и обеспечения безопасности передаваемых данных по каналам связи. Последнее является наиболее значимым, поскольку с расширением использования сети Интернет, увеличилось и пространство для мошенничества и киберугроз. На современном этапе необходимо обеспечить непрерывную актуализацию накопленных знаний по обеспечению информационной безопасности и разработку новых. Безопасность информации подвергается как преднамеренным, так и непреднамеренным угрозам. К непреднамеренным угрозам можно отнести угрозы стихийных бедствий, непредсказуемых поломок и сбоях программных средств. Однако преднамеренные угрозы связаны непосредственно с незаконными действиями злоумышленников и получением информации третьим лицом. Результатом получения информации злоумышленником могут быть как использование шпионских программ, так и непрофессиональные действия ответственных за сохранность конфиденциальной информации. Таким образом сегодня существует потребность в создании и совершенствовании криптографических систем и совершенствовании имеющихся методов сохранения информации.

Криптография внедрена во все сферы жизнедеятельности человечества: передаваемые через современные мессенджеры сообщения проходят процедуру шифрования, также активно используются QR-коды для оплаты и идентификации устройств. Интернет является как удобным методом быстрой передачи информации, так и крайне уязвимым без использования шифрования [2]. Несмотря на преимущества единого информационного пространства, возникает и ряд угроз, возникающих при отправке сведений, находящихся на распределенных серверах БД. Одной из главных является утечка информации неавторизованным лицам, во избежание этого, данные преобразуются для передачи, однако и это не гарантирует полную защищенность [4].

Модель распределенной передачи данных. Обеспечение безопасности информации при передаче по открытым сетям на современном этапе развития является очень востребованной задачей. Использование открытых сетей требует использования внедрения новейших механизмов и алгоритмов авторизации и аутентификации клиент-пользователей. Под распределенной информационной системой будем понимать удаленные друг от друга множества баз данных, имеющих общие параметры. Использование параметров уровня БД позволяет производить настройку нескольких конфигураций баз данных на уровне отдельных БД.

При использовании общедоступных каналов связей и отправке закрытых данных в первую очередь они нуждаются в преобразовании. Под шифрованием понимается преобразование информации в целях защиты от прочтения неавторизованными лицами и недопущения кражи информации, но при этом предоставление данных авторизованным пользователям. Шифрование на современном этапе развития – это основной метод защиты информации. Без шифрования распределенные информационные системы, используемые сейчас во многих областях жизни человека, становятся крайне уязвимыми к перехвату конфиденциальной информации третьими лицами. В современной теории информационных процессов и систем, распределенная информационная система трактуется как совокупность аппаратных и программных средств, выполняющих основные процессы по работе с данными, а точнее их хранение, накопление, передачу и обработку. С помощью единой системы обеспечивается работа с единым массивом данных пользователей, расположенных территориально удаленными друг от друга и использующих разные сервера, программные платформы и форматы хранения. Таким образом, при помощи системы осуществляется шифрование и расшифровка, а также интеграция данных с другими системами. Эти процессы происходят автоматически, предоставляя пользователям работу с удобным интуитивным интерфейсом. Современные системы шифрования позволяют совершать процесс шифровки и дешифровки сообщений, не снижая скорость передачи сообщения, но вместе с этим надежно защищая и не допуская перехват информации неавторизованными лицами.

Масштабируемость и отказоустойчивость являются отличительными особенностями распределенной информационной системы. Под масштабируемостью понимается возможность беспрепятственного апгрейда вычислительных машин, а отказоустойчивость характеризуется обязательным выполнением распределенных вычислений программ даже при неисправности вычислительных узлов [3, 7]. Масштабируемость также дает рентабельность информационной распределенной системе – несмотря на высокую стоимость, система быстро обретает преимущество над традиционной за счет быстрого наращивания вычислительной мощности.

Структурными элементами модели распределенной передачи данных являются [7]:

$F = \{f_i \mid i = \overline{1, I}\}$ – множество функций, используемых при распределенной передаче данных (табл. 1);

$D = \{d_j \mid j = \overline{1, J}\}$ – множество информационных элементов, используемых при распределенной передаче данных (табл. 2).

Далее в таблицах 1 и 2 приведены множества и информационных элементы, применяемые при распределенной отправке данных [7].

Таблица 1 – Элементы множества функций, используемые при распределенной передаче информации

| Обозначение множеств | Описание | Входная информация функции | Выходная Информация функции | Обозначение на рисунке 3 |
|----------------------|---------------------------------------|---|---|--------------------------|
| f_1 | генерация ключей клиента | t – тип генерируемых ключей: 0 – пара из открытого и закрытого ключа клиента, 1 – транзакционный ключ клиента | пара из открытого и закрытого ключа клиента или транзакционный ключ клиента | |
| f_2 | генерация ключей сервера | t – тип генерируемых ключей: 0 – пара из открытого и закрытого ключа сервера, 1 – транзакционный ключ сервера | пара из открытого и закрытого ключа сервера или транзакционный ключ сервера | |
| f_3 | отправка сообщений клиенту | отправка информации | | ← |
| f_4 | отправка сообщений серверу | отправка информации | | → |
| f_5 | сохранение информации в бд | сохраняемая информация | | |
| f_6 | симметричное преобразование | $f_6(m, k)$: m – исходное сообщение, k – ключ | c – преобразованное сообщение | $E1(m, k)$ |
| f_7 | асимметричное преобразование | $f_7(m, e)$: m – исходное сообщение, e – открытый ключ | c – преобразованное сообщение | $E2(m, e)$ |
| f_8 | обратное симметричное преобразование | $f_8(c, k)$: c – преобразованное сообщение, k – ключ | m – исходное сообщение | $D1(c, k)$ |
| f_9 | обратное асимметричное преобразование | $f_9(c, d)$: c – преобразованное сообщение, d – закрытый ключ | m – исходное сообщение | $D2(c, d)$ |
| f_{10} | проверка подлинности | $f_{10}(a, b)$: a и b – данные для сравнения | true или false | |

Таблица 2 – Информационные элементы используемые при распределенной передаче данных

| Обозначение элементов | Описание | Обозначение на рисунке 3 |
|-----------------------|-------------------------------|--------------------------|
| x_1 | открытый ключ клиента | e_1 |
| x_2 | закрытый ключ клиента | d_1 |
| x_3 | транзакционный ключ клиента | k |
| x_4 | открытый ключ сервера | e_2 |
| x_5 | закрытый ключ сервера | d_2 |
| x_6 | транзакционный ключ сервера | k_2 |
| x_7 | идентификатор пользователя | ID/ID1 |
| x_8 | отпечаток пользователя | |
| x_9 | пароль пользователя | PWD/PWD1 |
| x_{10} | список серверов приема данных | LIST |
| x_{11} | сообщение клиенту | |
| x_{12} | хэш-сумма сообщения | HASH |
| x_{13} | метка времени отправки | TIME |

Расположенные ниже отношения между множествами функций и информационными элементами применяются при отправке сведений, кортежи отношений определяются использованием функций, поэтому ниже продемонстрирована логическая матрица их взаимосвязи [7].

| | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | x_7 | x_8 | x_9 | x_{10} | x_{11} |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|
| f_1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| f_2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| f_3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| f_4 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| f_5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| f_6 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| f_7 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| f_8 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| f_9 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| f_{10} | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |

Используя матрицы смежности, можно задать структуру предметной области. У представленной выше матрицы отсутствуют строки и столбцы с поэлементной суммой, равной 0, поэтому, исходя из этих данных, можно сделать определенные выводы [7]:

- не существует таких функций множества F , которым не соответствовал хотя бы один информационный элемент множества D :

$$\forall i, i = \overline{1, P(F)}: \sum_{i=1}^{P(F)} (fx)_i > 0;$$

- не существует таких информационный элемент множества D , которым не соответствовала хотя бы одна функция множества F :

$$\forall j, j = \overline{1, P(D)}: \sum_{j=1}^{P(D)} (fx)_j > 0.$$

При использовании матриц и графов задается структура предметной области.

В таблице 3 показан состав переменных групп информационных элементов. Рисунок 1 представляет систему графов взаимодействия.

Таблица 3 – Состав переменных

| Группы | Информационные элементы |
|------------|-------------------------|
| $x_1^{гп}$ | x_1, x_2, x_3 |
| $x_2^{гп}$ | x_4, x_5, x_6 |
| $x_3^{гп}$ | x_7, x_8, x_9 |

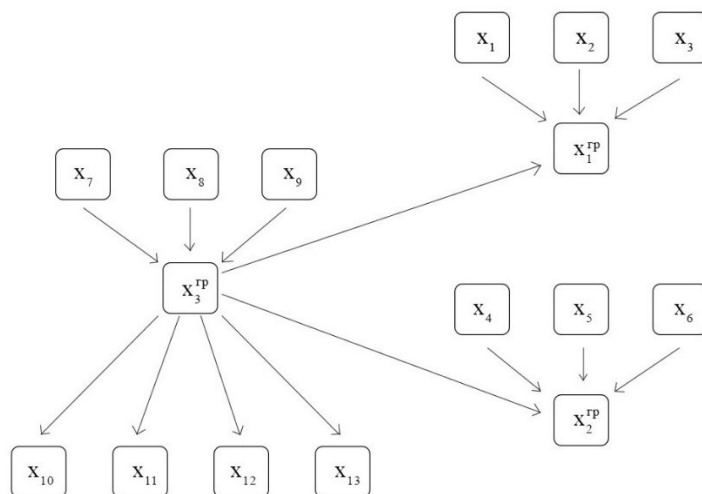


Рисунок 1 – Схематическая система графов ИС

Далее представленная ниже схема (рис. 2) применяет гибридное шифрование с распределенной передачей данных БД. Используемая система совмещает в себе преимущества симметричных систем и с открытым каналом связи [5, 6]. Передача данных осуществляется с использованием транзакционных, открытых и закрытых ключей, каждый из которых обладает уникальными преимуществами. Так, первый из перечисленных ключей позволяет дешифровать данные в симметрическом прямом

преобразовании, а два других используются для безопасного обмена данными [8]. В данной системе симметричный ключ используется при непосредственном прямом преобразовании данных, а ассиметричным ключом шифруется используемый симметричный ключ.



Рисунок 2 – Система передачи информации

Алгоритмы распределенной передачи данных и ее проверки достоверности по открытым каналам связи. На рисунке 3 представлен алгоритм процесса аутентикации клиента при инициализации обмена и передачи данных по открытым каналам связи, который выполняется пошагово следующим образом:

1. Генерируется пара ключей открытого и закрытого типа $\{e_1, d_1\}$. После данной процедуры клиент осуществляет передачу сообщения серверу аутентикации. Данное сообщение включает в себя логин (идентификатор) отправителя ID и открытый ключ клиента e_1 .

2. В базу данных сервера поступает открытый ключ e_1 . Происходит генерация пары ключей сервера (открытый и закрытый ключ) $\{e_2, d_2\}$. Клиент получает отчет, в котором кроится открытый серверный ключ.

3. Далее формируется транзакционный ключ k и шифруется пароль PWD (биометрия пользователя, например любой палец одной руки) с использованием этого ключа k и симметричного метода. Данное сообщение зашифровывается открытым ключом сервера e_2 и отправляется серверу.

4. Сервер раскрывает сообщение с помощью закрытого ключа d_2 . Далее сервер расшифровывает PWD, используя ключ через k симметричным методом. Сервер аутентикации производит проверку логина и пароля. При верных элементах генерируется транзакционный ключ k_2 . Данным ключом зашифровывается список имеющихся серверов, которые принимают сообщения. Сервер аутентикации проверяет в свою очередь присланный пароль и пароль, хранящийся на сервере. Если данные элементы оказываются верны, сервер генерирует транзакционный ключ k_2 , которым зашифровывается список серверов LIST, принимающих данные пользователя-клиента. Принятое сведение шифруется ассиметричным алгоритмом благодаря открытому клиентскому ключу e_1 и пересылается ему.

Однако, если логин и пароль не совпадают, пользователь получает информацию в форме сообщения о произошедшей ошибке при аутентикации.

5. Клиент расшифровывает сообщение с помощью закрытого ключа d_1 . Затем происходит процедура расшифровки списка серверов с использованием симметричного метода и транзакционного ключа k_2 .

6. При проведении успешной аутентикации происходит идентификация клиента благодаря логину/паролю. Когда происходит авторизация, пользователю открывается доступ к разным серверам для дальнейшей отправки информации. Поэтому при новой отсылке данных будет сгенерирован новейший уникальный транзакционный ключ. По прошествии часа сервер вновь запросит пройти аутентикацию [9].

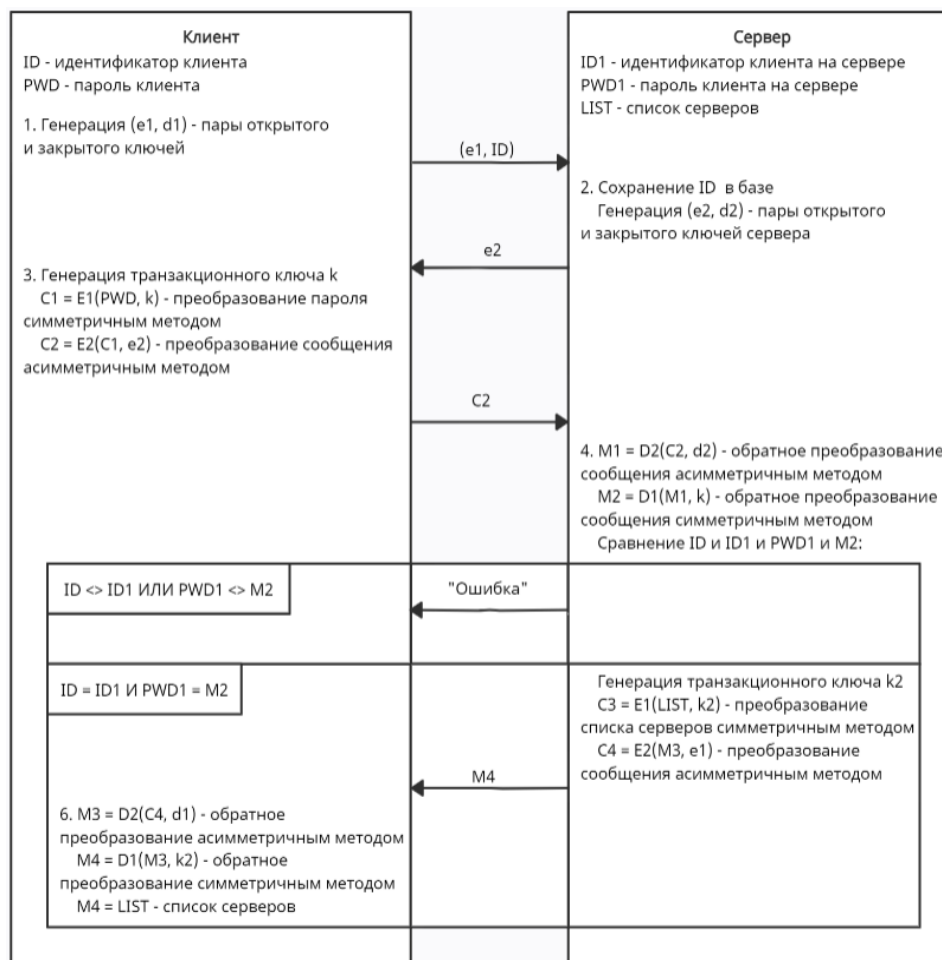


Рисунок 3 – Алгоритм процесса аутентикации клиента при инициализации обмена и передачи данных по открытым каналам связи

На современном этапе развития проблема шифрования информации при ее передаче наиболее актуальна при использовании мобильных приложений. Далее рассмотрим как происходит работа сервера с мобильным приложением. Запрос с определенными параметрами передается серверу и ожидается ответ [10]. Из списка доступных серверов выбирается случайный сервер, куда осуществляется передача данных. Если в течение 30 секунд от сервера не поступает ответ, приложение отправляет сообщение следующему доступному файлсерверу БД [11].

Далее представлено еще один метод отсылки сведений по общедоступным каналам связи при передаче информации удаленной серверной БД (рис. 4):

1. Начинается генерирование транзакционного ключа k и зашифровывается симметричным способом хеш-сумма передаваемой информации. Соответственно преобразовывается и количество данных m . После чего, принятые сведения шифруются асимметричным методом с применением открытого ключа e_2 . Полученные данные направляются случайной серверной БД из списка; если нет ответа в течение 30 секунд, то сообщение направляется в другой случайный сервер [7].

2. Происходит разбиение сообщения на n фрагментов. Каждый фрагмент приобретает через прямое преобразование метку времени отправки. Каждый из фрагментов шифруется симметричным методом через ключ k . После чего принятые сведения зашифровываются открытым ключом e_2 и передаются в заданном ранее порядке [7].

3. После принятых данных с серверных БД клиенту приходит отчет об успешном завершении алгоритма; если же отчета нет, то сведения переадресуются с неизменной меткой времени на сторонний сервер БД [7].

4. Приняв команду, сервер БД передает полученную информацию в центральную БД. На данном этапе сервер расшифровки расшифровывает транзакционный ключ k , используя закрытый ключ сервера d_2 . Данная расшифровка производится асимметричным методом.

5. В последнюю очередь собирается исходное сообщение и сверяется хэш-сумма. После данных действий происходит ответ клиенту.

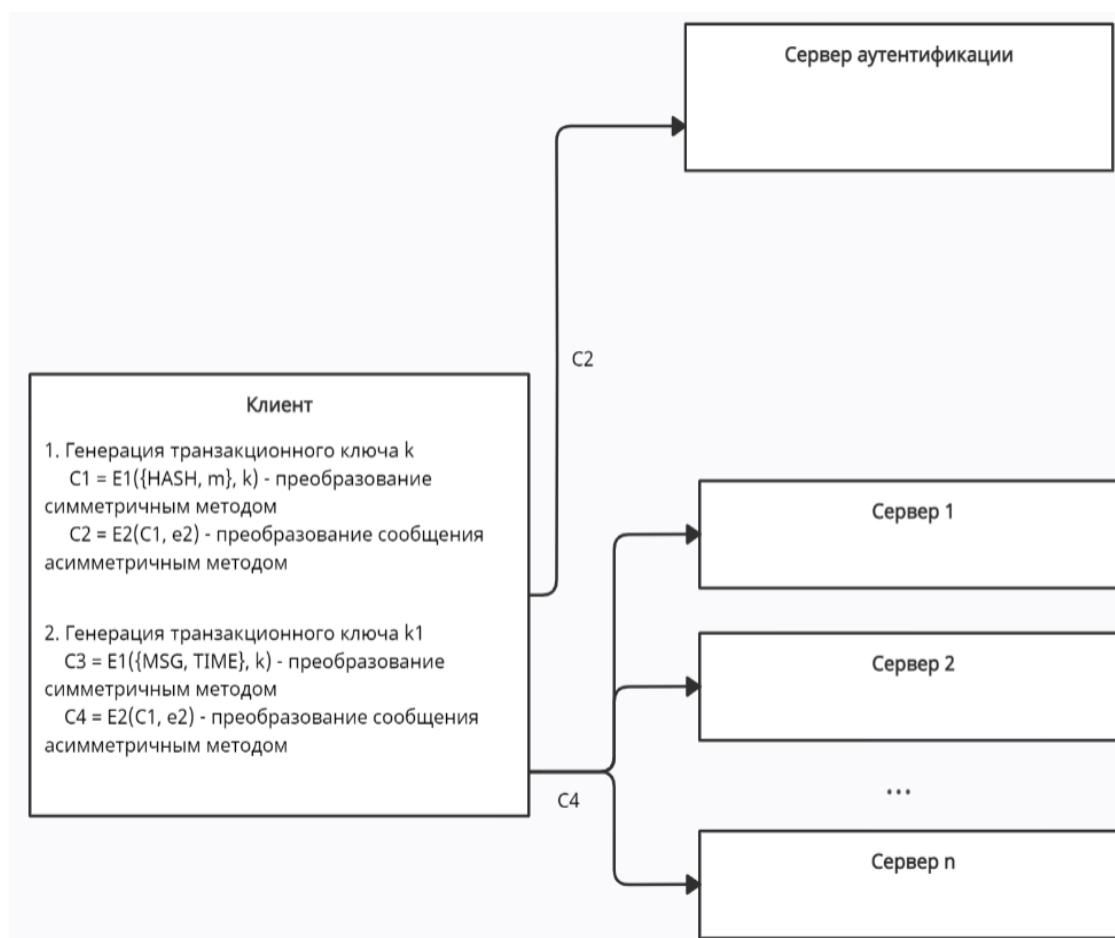


Рисунок 4 – Схематическое представление отправки данных по общедоступным каналам связи при передаче информации серверной БД

Заключение. На современном этапе передача информации посредством сети Интернет является наиболее популярной и безопасной. Стоит отметить, что развитие систем информационной безопасности – это непрерывный и важный процесс, поскольку информационные угрозы также будут возникать и развиваться. Технологию распределенной передачи данных и проверки достоверности информации по открытому каналу связи можно представить множественной моделью, которая подробно приведена в статье. Продемонстрированная авторами технология обмена информацией по общедоступным линиям передач, обладает высокой степенью безопасности при операциях шифрования/дешифрования и увеличивает надежность передачи данных за счет распределенной передачи данных на необходимое количество серверов.

Библиографический список

- Атрощенко, В. А. К вопросу разработки алгоритма передачи закрытых данных по открытым сетям между мобильным устройством и распределенными серверами / В. А. Атрощенко, Р. А. Дьяченко, М. В. Руденко, Р. Х. Багдасарян // III Международная научно-практическая конференция молодых ученых, посвященная 52-й годовщине полета Ю.А. Гагарина в космос : сборник научных статей. – Краснодар : ООО «Издательский дом – Юг», 2013. – С. 327–331.
- Атрощенко, В. А. К вопросу повышения защищенности информационных биллинговых систем / В. А. Атрощенко, М. В. Руденко, Р. А. Дьяченко, Р. Х. Багдасарян // Научные чтения имени профессора Н.Е. Жуковского : сборник научных статей IV Международной научно-практической конференции. – Краснодар : ООО «Издательский Дом – Юг», 2014. – С. 126–129.
- Атрощенко, В. А. К вопросу оценки достоверности информации для предотвращения MITM-атаки при передаче закрытой информации по открытым каналам связи / В. А. Атрощенко, М. В. Руденко, Р. А. Дьяченко, Р. Х. Багдасарян // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 3. – С. 82.
- Багдасарян, Р. Х. О разработке метода проверки достоверности данных при передаче информации / Р. Х. Багдасарян, В. О. Осипян, Е. П. Лукащик, С. Г. Сеница, А. С. Жук, К. И. Литвинов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2019. – № 2 (46). – С. 143–152.

5. Багдасарян, Р. Х. О современных проблемах проверки достоверности данных при передаче информации и компрометации канала связи / Р. Х. Багдасарян, В. О. Осипян // IX Международная научно-практическая конференция молодых ученых, посвященная 58-й годовщине полета Ю. А. Гагарина в космос : сборник научных статей. – 2019. – С. 289–291.

6. Багдасарян, Р. Х. К вопросу о защите и проверке достоверности информации при ее передаче по открытым каналам связи / Р. Х. Багдасарян, В. О. Осипян // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2020. – № 2 (50). – С. 127–135.

7. Руденко, М. В. Информационная система мобильных устройств для оплаты коммунальных услуг : дис. ... канд. техн. наук / М. В. Руденко. – Краснодар : Кубанский государственный технологический университет, 2016.

8. Холкин, Д. О. Метод передачи сообщений с использованием лучших способов организации обмена данными и криптографических протоколов обмена мгновенными сообщениями с использованием сквозного шифрования / Д. О. Холкин, М. А. Маслова, А. С. Дмитриев // Инженерный вестник Дона. – 03.06.2021. – № 6. – Режим доступа: www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/7054, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

9. Скоба, А. Н. Решение задачи обеспечения оптимальной эффективности функционирования распределенных систем обработки информации / А. Н. Скоба, В. К. Михайлов, Айеш Ахмед Нафеа Айеш // Инженерный вестник Дона. – 03.06.2021. – № 6. – Режим доступа: www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/7053, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

10. Chor, B. A Krapsack-type public key cryptosystem based on arithmetic in finite fields / B. Chor, R. Rivest // IEEE Transactions on Information Theory. – 1988. – Vol. 34. – P. 901–909.

11. Osipyan, V. O. Development of information security system mathematical models by the solutions of the multi-grade diophantine equation systems / V. O. Osipyan, K. I. Litvinov, R. Kh. Bagdasaryan, E. P. Lukashchik, S. G. Sinitsa, A. S. Zhuk // International Conference Proceeding Series, Association for Computing Machinery. – 2019.

References

1. Atroschenko, V. A., Dyachenko, R. A., Rudenko, M. V., Bagdasaryan, R. Kh. K voprosu razrabotki algoritma peredachi zakrytykh dannykh po otkrytym setyam mezhdub mobilnym ustroystvom i raspredelennymi serverami [On the development of an algorithm for transmitting private data on open networks between a mobile device and distributed servers]. *III Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya molodykh uchenykh, posvyashchennaya 52-y godovshchine poleta Yu.A. Gagarina v kosmos : sbornik nauchnykh statey* [III International Scientific and Practical Conference of Young Scientists dedicated to the 52nd anniversary of the flight of Yu.A. Gagarin in space : proceedings]. Krasnodar, "Publishing House – South" LLC, 2013, pp. 327–331.

2. Atroschenko, V. A., Rudenko, M. V., Dyachenko, R. A., Bagdasaryan, R. Kh. K voprosu povysheniya zashchishchennosti informatsionnykh billingovykh sistem [On the issue of increasing the security of information billing systems]. *Nauchnye chteniya imeni professora N.E. Zhukovskogo : sbornik nauchnykh statey IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Scientific readings named after Professor N.Ye. Zhukovsky : proceedings of the IV International Scientific Practical Conference]. Krasnodar, "Publishing House – South" LLC, 2014, pp. 126–129.

3. Atroshhenko, V. A., Rudenko, M. V., Dyachenko, R. A., Bagdasaryan, R. Kh. K voprosu otsenki dostovernosti informatsii dlya predotvrashheniya MITM-ataki pri peredache zakrytoy informatsii po otkrytym kanalamsvyazi [«On the issue of assessing the reliability of information to prevent MITM attacks when transmitting classified information over open communication channels»]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education], 2013, no. 3, p. 82.

4. Bagdasaryan, R. Kh., Osipyan, V. O., Lukashchik, E. P., Sinitsa, S. G., Zhuk, A. S., Litvinov, K. I. O razrabotke metoda proverki dostovernosti dannykh pri peredache informatsii [On the development of a method for checking the reliability of data when transferring information]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2019, no. 2 (46), pp. 143–152.

5. Bagdasaryan, R. Kh., Osipyan, V. O. O sovremennykh problemakh proverki dostovernosti dannykh pri peredache informatsii i komprometatsii kanala svyazi [On modern problems of data validation when transmitting information and compromising a communication channel] *IX mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya molodykh uchenykh, posvyashchennaya 58-y godovshchine poleta Yu. A. Gagarina v kosmos : sbornik nauchnykh statey* [IX International Scientific and Practical Conference of Young Scientists, dedicated to the 58th anniversary of Yu. A. Gagarin into space], 2019, pp. 289–291.

6. Bagdasaryan, R. Kh., Osipyan, V. O. K voprosu o zashchite i proverke dostovernosti informatsii pri ee peredache po otkrytym kanalamsvyazi [On the issue of protecting and verifying the reliability of information during its transmission over open communication channels]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2020, no. 2 (50), pp. 127–135.

7. Rudenko, M. V. *Informatsionnaya sistema mobilnykh ustroystv dlya oplaty kommunalnykh uslug : dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk* [Information system of mobile devices for payment of utility bills : dissertation for the degree of candidate of technical sciences]. Krasnodar, Kuban State Technological University, 2016.

8. Holkin, D. O., Maslova, M. A., Dmitriev, A. S. Metod peredachi soobshheniy s ispolzovaniem luchshikh sposobov organizatsii obmena dannymi i kriptograficheskikh protokolov obmena mgnovennymi soobshheniyami s ispolzovaniem skvoznogo shifrovaniya [A method of transferring messages using the best communication methods and cryptographic instant messaging protocols using end-to-end encryption.] *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Journal of Don], 03.06.2021, no. 6. Available at: www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/7054.

9. Skoba, A. N., Mikhaylov, V. K., Ayesh, Akhmed Nafea Ayesh. Reshenie zadachi obespecheniya optimalnoy effektivnosti funktsionirovaniya raspredelennykh sistem obrabotki informatsii [Solving the problem of ensuring the optimal efficiency of functioning of distributed information processing systems]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Journal of Don], 03.06.2021, no. 6. Available at: www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/7053.

10. Chor, B., Rivest, R. A Knapsack-type public key cryptosystem based on arithmetic in finite fields. *IEEE Transactions on Information Theory*, 1988, vol. 34, pp. 901–909.

11. Osipyanyan, V. O., Litvinov, K. I., Bagdasaryan, R. Kh., Lukashchik, E. P., Sinitsa, S. G., Zhuk, A. S. Development of information security system mathematical models by the solutions of the multigrade diophantine equation systems. *International Conference Proceeding Series, Association for Computing Machinery*, 2019.

УДК 004.421.5

ВАРИАНТ РЕАЛИЗАЦИИ СХЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВХОДНОГО ПОТОКА ДАННЫХ АСИММЕТРИЧНЫМ МЕТОДОМ НА БАЗЕ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ¹

Статья поступила в редакцию 24.08.2021, в окончательном варианте – 09.09.2021.

Кулешова Елена Александровна², Юго-Западный государственный университет, 305004, Россия, г. Курск, ул. Челюскинцев, 19, корпус Б, аспирант, ORCID: 0000-0002-8270-564X, e-mail: lena.kuleshova.94@mail.ru

В настоящее время известны такие приложения теории клеточных автоматов, как симметричное шифрование, сжатие данных, обработка цифровых изображений и некоторые другие. Также существуют исследования, предполагающие возможность построения системы с открытым ключом на базе клеточных автоматов, однако данная задача пока не была решена. В данной статье предлагается вариант схемы преобразования входного потока данных асимметричным методом на базе клеточных автоматов. Предложена схема преобразования, основанная на последовательном изменении битов исходного файла согласно инструкциям в ключе. Открытым параметром в данном случае будет являться число столбцов информационной матрицы, а закрытый ключ будет состоять из матрицы шифрования и правила обхода матрицы данных. В целях повышения стойкости и поддержания высокой скорости обработки потока данных предложена математическая модель преобразования данных на базе клеточных автоматов с использованием расширенного ключа, определяющего индивидуальную окрестность обрабатываемого бита данных с учетом положения данного бита в матрице исходных данных. Для верификации математической модели был разработан программный модуль для анализа индивидуальных цепочек в блоках данных, позволяющий сопоставить блоки данных в виде бинарных матриц. Практическая значимость предложенного решения заключается в том, что полученные результаты можно использовать в исследовательских целях и в возможности применения полученных решений для развития методов криптографического преобразования данных.

Ключевые слова: информационная безопасность, потоковая передача данных, клеточные автоматы, асимметричное шифрование, системы защиты конфиденциальной информации

A VARIANT OF IMPLEMENTATION OF THE SCHEME FOR CONVERSION OF THE INPUT DATA FLOW BY THE ASYMMETRIC METHOD ON THE BASIS OF CELLULAR AUTOMATA

The article was received by the editorial board on 24.08.2021, in the final version – 09.09.2021.

Kuleshova Elena A., Southwest State University, building B, 19 Chelyuskintsev St., Kursk, 305004, Russian Federation, postgraduate student, ORCID: 0000-0002-8270-564X, e-mail: lena.kuleshova.94@mail.ru

At present, such applications of the theory of cellular automata as symmetric encryption, data compression, digital image processing, and some others are known. There are also studies suggesting the possibility of building a public key system based on cellular automata, but this problem has not yet been solved. This article proposes a variant of the scheme for transforming the input data stream by an asymmetric method based on cellular automata. The proposed conversion scheme is based on the sequential change of the bits of the source file according to the instructions in the key. The public parameter in this case will be the number of columns of the information matrix, and the private key will consist of the encryption matrix and the rule for traversing the data matrix. In order to increase the stability and maintain a high processing speed of data streams, a mathematical model of data transformation based on cellular automata with the use of an extended key, which determines the individual neighborhood of the processed data bit, taking into account the position of this bit in the initial data matrix, is proposed. To verify the mathematical model, a software module was developed for the analysis of individual chains in data blocks, which makes it possible

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-31-90069.

² Научный руководитель – Добрица Вячеслав Порфирьевич, Юго-Западный государственный университет, 305004, Российская Федерация, г. Курск, ул. Челюскинцев, 19, корпус Б, доктор физико-математических наук, профессор, e-mail: dobritsa@mail.ru

to compare data blocks in the form of binary matrices. The practical significance of the proposed solution lies in the fact that the results obtained can be used for research purposes and in the possibility of using the obtained solutions for the development of methods for cryptographic data transformation.

Keywords: information security, data streaming, cellular automata, asymmetric encryption, confidential information protection systems

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. Идея клеточных автоматов была предложена Дж. Фон Нейманом и К. Цусе в конце 40-х годов. Изначально клеточные автоматы рассматривались как универсальная вычислительная среда для построения алгоритмов и моделирования физических процессов, эквивалентная по собственным возможностям машине Тьюринга [1]. С начала 70-х годов в Берлине начали регулярно проводиться международные конференции по параллельной обработке информации на клеточных автоматах. В это же время получила известность игра «Жизнь», основанная на двумерных клеточных автоматах. В 1983 г. британский математик С. Вольфрам начинает работу над моделью клеточных автоматов, которую впоследствии применял в криптографии и гидродинамике. В области симметричного шифрования стоит выделить работы [2, 3], а также работы [4–6], в которых рассмотрена задача обратимости клеточных автоматов.

Описание клеточного автомата с целевой функцией было представлено в работе [7], данная идея получила развитие в работах [8, 9], в которых было предложено определение усовершенствованного клеточного автомата на разбиении и описана модель клеточного автомата с плавающим окном. При использовании клеточного автомата с плавающим окном обработка (шифрование) начинается с первого блока (зависит от входных параметров и режима обработки), далее итеративный процесс повторяется по порядку до обработки всех блоков [10]. Основываясь на исследованиях, проведенных в данной работе было принято решение о введении локального правила обработки блоков на основе конечного набора шаблонов, что предполагает сокращение времени шифрования без потери стойкости шифра. Каждый шаблон задает индивидуальную окрестность информационным битам. Функция обновления работает с ячейкой тогда и только тогда, когда существует соответствие между состояниями ее соседей и заданным шаблоном.

Схема преобразования данных. Предложенная схема преобразования основана на последовательном изменении битов исходного файла согласно инструкциям в ключе. Открытым параметром является число столбцов информационной матрицы – эта информация передается по открытому каналу связи. Закрытый ключ состоит из матрицы шифрования и правила обхода матрицы данных. Схема работы системы обработки двоичного потока данных представлена на рисунке 1.

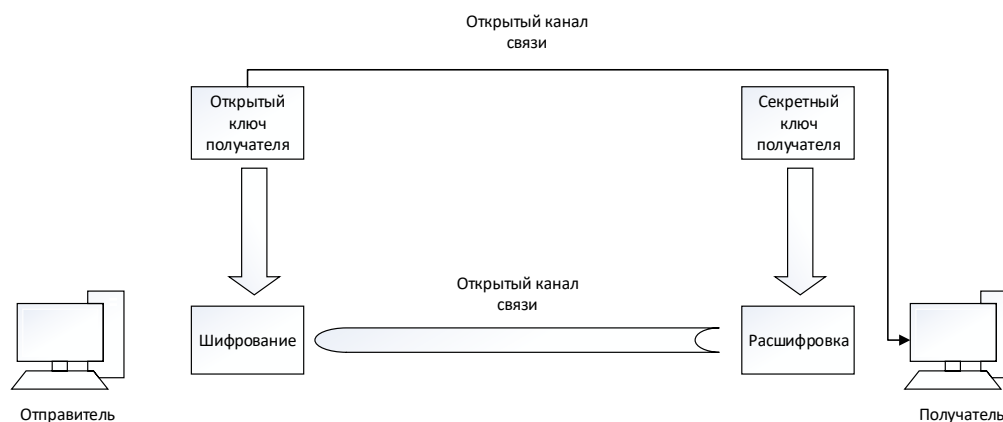


Рисунок 1 – Схема работы системы обработки двоичного потока данных

В качестве основы алгоритма возьмем модель клеточного автомата, в которой элементы системы определяются согласно заданной окрестности. В качестве блока будет рассматриваться элемент информационной матрицы. Вводится правило локальной обработки элементов матрицы на основе конечного набора шаблонов. Каждый шаблон задает индивидуальную окрестность информационным битам. Функция обновления работает с ячейкой тогда и только тогда, когда существует соответствие между состояниями ее соседей и шаблоном. Основываясь на исследованиях, приведенных в статье [11], введем два серьезных ограничения: все шаблоны в композиции имеют такую же окрестность, что и конечный результат их композиции, и все шаблоны имеют одинаковую форму. Эти простые ограничения позволяют создавать прозрачную и эффективную в части использования вычислительных ресурсов реализацию.

Материалы и методы. По результатам проведенных исследований, определено, что системы преобразования данных с применением как открытого, так и закрытого ключа обладают своими преимуществами и недостатками. Именно поэтому, чтобы создать устойчивую систему, обладающую всеми преимуществами, необходимо объединить асимметричный метод с симметричным, получив гибридную систему.

В качестве асимметричной части разрабатываемой системы будем использовать метод RSA, так как он зарекомендовал себя, как надежный и простой в реализации метод. Симметричной частью разрабатываемого приложения будет являться метод шифрования на базе клеточных автоматов [12].

Для описания работы метода рассмотрим работу с бинарной матрицей. В качестве закрытого ключа выступает так называемая квадратная шифр-матрица, которая задается бинарным файлом. Она является шаблоном, задающим индивидуальную битам матрицы данных. Размерность P матрицы (формула 1) шифрования определим, как целую часть от корня из количества бит в файле матрицы:

$$P = \left\lfloor \sqrt{s(x) \cdot 8} \right\rfloor, \quad (1)$$

где $s(X)$ – размер исходного файла в байтах.

Далее определяем размерность сегмента матрицы данных. Число столбцов информационной матрицы N_1 является открытым параметром шифрования.

Рекомендуется принимать $N_1 > P$, так как открытый параметр задает ширину рабочей части матрицы. Соблюдение данной рекомендации максимизирует число индивидуальных окрестностей, так как шифр-матрица работает по всей ширине и повышает криптостойкость преобразования [13].

Метод формирования индивидуальной окрестности состоит в том, что на каждый информационный бит (n – номер столбца, m – номер строки) накладывается окрестность. На примере окрестности Мура w -го порядка можем определить координаты центра по формулам 2–3:

$$x = m \bmod (P - w) + \left\lfloor \frac{w}{2} \right\rfloor + 1; \quad (2)$$

$$y = n \bmod (P - w) + \left\lfloor \frac{w}{2} \right\rfloor + 1. \quad (3)$$

Далее в соответствии с правилом обхода матрицы производим шифрование на клеточном уровне с учетом индивидуальной окрестности. Базовый уровень защиты данных предполагает однократный обход элементов матрицы по выбранному маршруту, продвинутый уровень защиты – два варианта обхода. Таким образом, клеточным автоматом с индивидуальной окрестностью называют совокупность (формула 4):

$$CA_{OM} = \langle Z^n, (N_1, \dots, N_n), A, X(p_1, \dots, p_n), P \rangle. \quad (4)$$

где Z^n – размерность клеточного автомата ($n = 2$);

(N_1, \dots, N_n) – размер сегмента матрицы данных, при этом N_1 является открытым параметром шифрования;

$X(p_1, \dots, p_n)$ – шифр-матрица;

$A = \{0, 1\}$ – значение битов данных;

P – размерность матрицы шифрования.

Рассмотрим метод шифрования разработанной системы на примере окрестности Мура первого порядка.

1. Определяем размерность матрицы шифрования исходя из соображений, что она квадратная и максимально учитывает секретный ключ. Шифр-матрица является шаблоном, в соответствии с которым задается индивидуальная окрестность информационного бита по формуле 5:

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} \\ p_{21} & ? & p_{23} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Закрытый ключ получателя записывается в матрицу ключа P . Принцип записи отображен в таблице 1.

Таблица 1 – Принцип записи ключа в матрицу P

| Элемент матрицы | p_{11} | p_{12} | p_{13} | p_{21} | p_{22} | p_{23} | p_{31} | p_{32} | p_{33} |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Порядковый номер бита | 1 | 2 | 3 | 4 | | 5 | 6 | 7 | 8 |

2. Определим размерность сегмента матрицы данных. Построим матрицу N размером $n \times m$. Число столбцов матрицы N_1 является в данном случае открытым параметром (рекомендуется $N_1 > P$), формула 6:

$$N = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2m} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{nm} \end{bmatrix}. \quad (6)$$

При этом $a_{11}, a_{12}, \dots, a_{nm}$ соответствуют битам файла s_1, s_2, \dots, s_i . Если размер файла $S < n \cdot m$, тогда заполним пустые элементы матрицы нулями, количество таких элементов вычисляется по формуле 7:

$$x = n \cdot m - S. \quad (7)$$

Другими словами, последний сегмент матрицы может быть дополнен нулевыми битами (хвостом) для полноты прямоугольного сегмента [14, 15]. Остальные сегменты не нуждаются в дополнении, так как размерность матрицы в соответствии с предложенным методом кратна восьми [16]. Для обратимости шифрования и исключения «хвоста» можно использовать криптографические хеш-функции от числа добавленных элементов, в таком случае целесообразно использовать произвольную цепочку бит [17]. При дешифровании это позволит определить количество бит, которые не будут учитываться при работе программного модуля.

3. Формируем матрицу зашифрованного текста N^* . При наложении окрестности, центральный элемент которой вычисляется по формуле 8, нумерация строк и столбцов матрицы начинается с нуля. Для элементов a_{ij} последовательно (в соответствии с правилом обхода матрицы данных) применяются следующие действия: сравниваются окрестности элемента матрицы N^* и центрального элемента шаблона P . Если элементы окрестности $L_{p_{22}}$ центрального элемента ключа не совпадают с аналогичными элементами окрестности $L_{a_{ij}}$ элемента матрицы N^* , то значение элемента остается прежним, в противном случае для элемента применяется операция сложения по модулю два с единичными битами:

$$a_{ij} = \begin{cases} a_{ij} \oplus 1, \forall p_{ij} = 1, p_{ij} = a_{ij} \\ a_{ij} \oplus 0, \forall p_{ij} = 1, p_{ij} \neq a_{ij} \end{cases} \quad (8)$$

4. Элементы полученной матрицы записываются в пустой файл и собираются в соответствии с правилом сбора сегментов данных.

При обратном преобразовании важно производить инверсный обход элементов матрицы.

Оценка распределения цепочек выходных бит. Для оценки равномерности распределения бит, полученных в ходе верификации математической модели без использования разработанного программного средства, сформируем матрицу, являющуюся разностью исходной и зашифрованной матрицы, воспользуемся программным модулем для анализа индивидуальных цепочек в блоках данных, позволяющим сопоставить блоки данных в виде бинарных матриц. В ходе экспериментальных исследований проведен анализ индивидуальных цепочек с учетом смещения относительно начала файла и размерностей бинарных фрагментов. На рисунке 2 представлен график распределения битовой последовательности, сформированный на основе исходной и зашифрованной матриц.

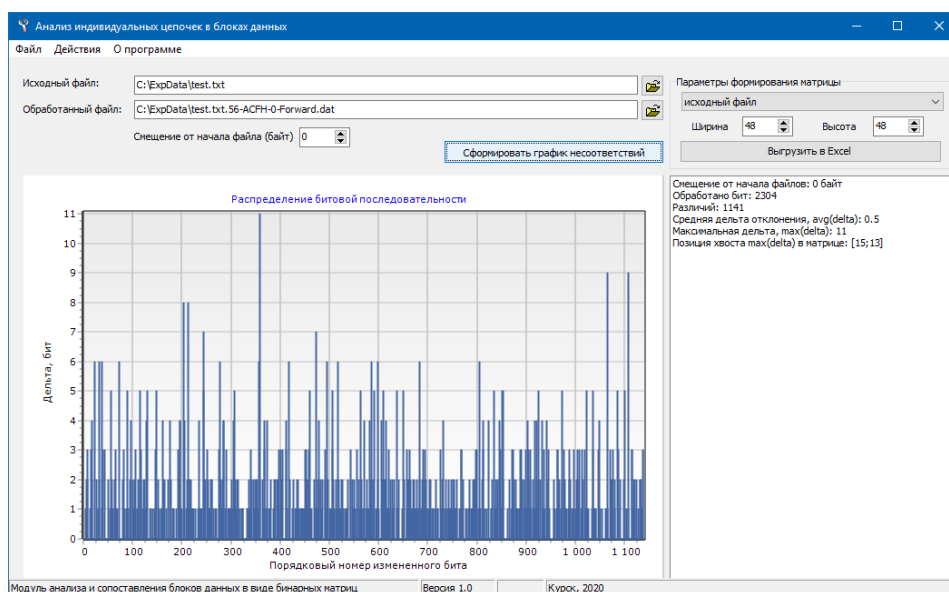


Рисунок 2 – Распределение битовой последовательности

Упрощенная визуализация матрицы в виде поверхности показана на рисунке 3. Здесь точки отличия приподнимаются от основного уровня и демонстрируют расстановку единичных бит. На схеме показан фрагмент матрицы 48 x 48 (инструмент для анализа позволяет производить выгрузку любых размерностей, в том числе с учетом смещения относительно начала файла). Наклонные грани показывают равномерный переход между состояниями и используются для лучшей визуализации. В ходе экспериментальных исследований сопоставлены классический метод обработки потока данных на базе клеточного автомата (оригинальный, рис. 3а) и метод, предложенный в данной статье (модифицированный, рис. 3б). Явно прослеживаются зависимости и неравномерность распределения бит на рисунке 3а.

Произведем выгрузку матрицы, полученной с применением модифицированного метода обработки битовой последовательности на базе клеточных автоматов (рис. 3б). Как и ожидалось, в соответствии с графиком распределения битовой последовательности, показавшим величину максимальной дельты, равной 11 бит, и средний показатель 6 бит, форма выгрузки демонстрирует более равномерное распределение данных, что значительно усложняет задачу распознавания контента.

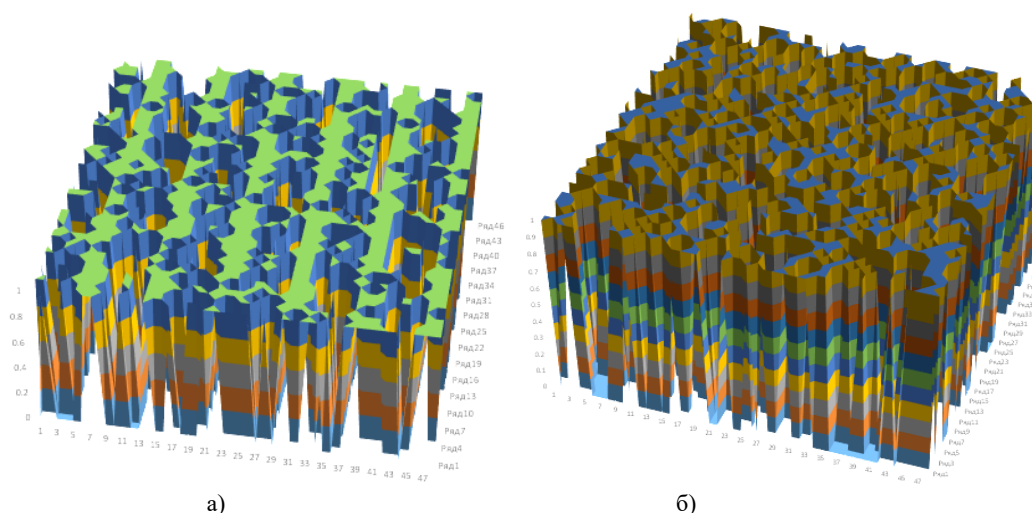


Рисунок 3 – Внешний вид матрицы данных

Для качественного анализа распределения изменений в ходе обработки сформируем графическое представление суперпозиции, отражающей отличие матриц с привязкой к координатам. Значением элемента матрицы будут значения $\{-1, 0, 1\}$. Мы видим, что оба варианта позволяют достичь достаточно равномерного распределения изменений на битовом уровне по обе стороны плоскости исходных данных в виде поверхности (рис. 4).

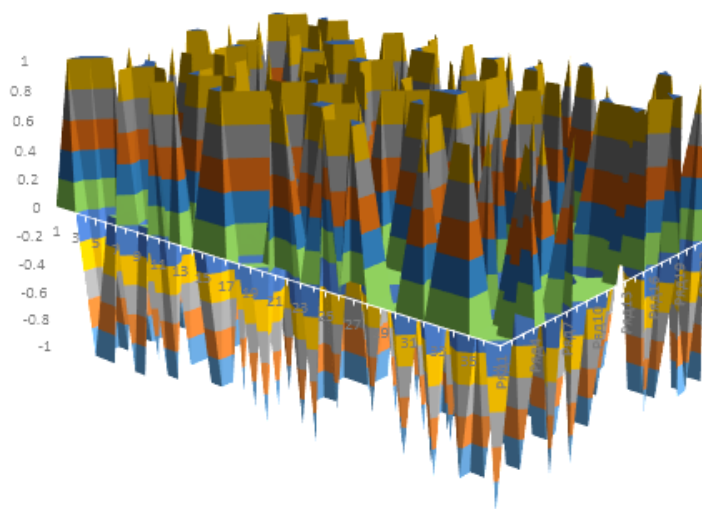


Рисунок 4 – Фрагмент суперпозиции матриц

Из полученных результатов следует, что обработанная матрица содержит не менее 45 % изменений на уровне бит и 100 % изменений на уровне байт, что условиях соответствия положения бит до и после обработки исключает доступ к защищенным данным со стороны злоумышленника без обратного преобразования, предполагающего знание или подбор ключевых параметров. Число вариантов формирования индивидуальной окрестности зависит от параметров ключа, а именно – от размера шифрующей матрицы и растет в экспоненциальной зависимости. Учитывая тот факт, что злоумышленнику, обладающему открытой частью ключа, кроме подбора матрицы-шифра требуется поиск вариантов обхода информационных бит, который может быть комбинированным, делаем вывод о высоком уровне криптостойкости.

Обсуждение и выводы. В ходе экспериментальных исследований сопоставлены классический метод обработки потока данных на базе клеточного автомата (оригинальный) и метод, предложенный в данной статье (модифицированный). Оба метода рассматривались в разрезе скорости обработки одним потоком, равномерности распределения бит и значения максимальной дельты между инвертированными элементами матриц. Для объективности результатов с учетом длины потока данных группа экспериментов разделена на два этапа обработки последовательностей менее 10 Мб (графика, документы, аудиофайлы), и превышающих это значение (видео-контент, архивы и т.д.). Все эксперименты проводились на одном и том же оборудовании.

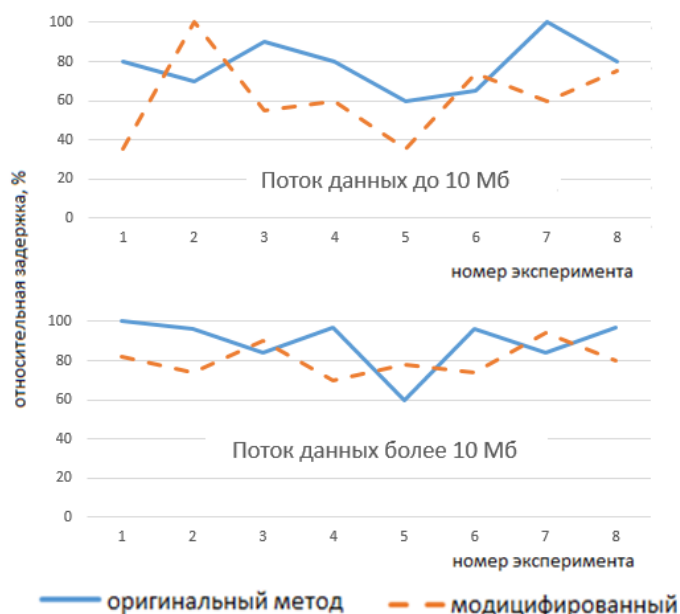


Рисунок 5 – Относительные задержки с привязкой к методу преобразования

Из рисунка 5 видно, что быстродействие модифицированного метода остается на уровне оригинального, а при обработке больших потоков данных имеет меньшие отклонения от средней величины. Это позволяет прогнозировать время обработки и учитывать при подборе аппаратной части.

Матрицы, обработанные обоими методами, по числу инверсий входят в доверительный интервал 40–60 %, что показано на рисунке 6.

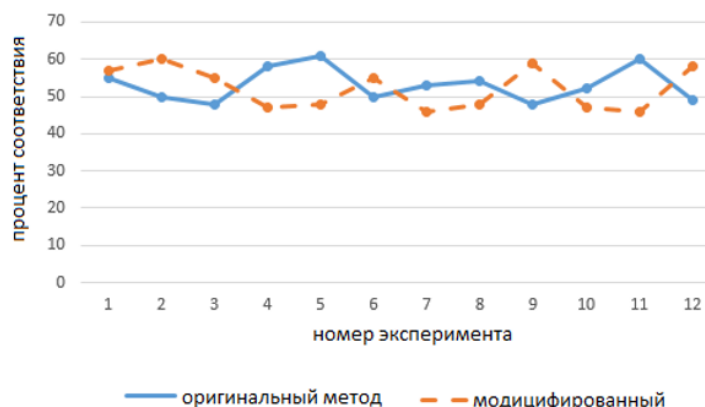


Рисунок 6 – Статистика инверсий

Оценка равномерности внесенных изменений по всем экспериментам показала изменений данных на уровне байта, значение максимальной дельты не превышает 11 бит, в то время как средний показатель составляет 5–6 бит (рис. 7).

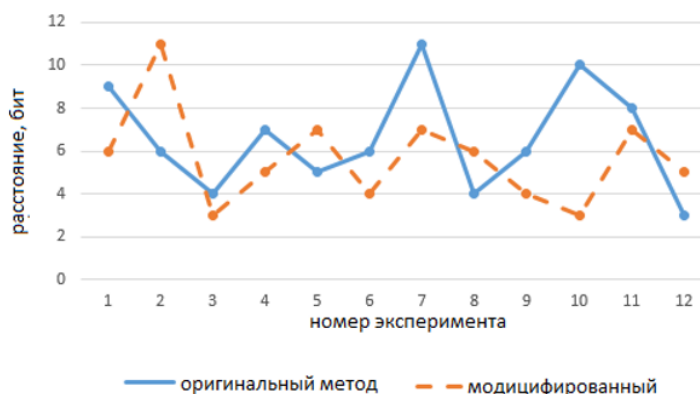


Рисунок 7 – Значений отклонений инвертированных бит (дельта)

Значение этого статистического параметра показало изменение потока данных на уровне байта, из которого можно сделать вывод о том, что оба метода не дают возможности распознать исходный контент без обратного преобразования.

Выводы. В данной статье предложен вариант схемы преобразования потоков данных, основанный на сочетании асимметричного шифрования и клеточных автоматов, который позволяет создать устойчивую к атакам систему защиты конфиденциальной информации.

Основным отличием предложенной схемы преобразования данных на основе клеточного автомата является использование открытого параметра, который передается по открытому каналу связи. Открытым параметром является число столбцов информационной матрицы. Также стоит отметить, что закрытый ключ в данном случае является составным и включает в себя не только матрицу шифрования, но и правила обхода матрицы данных, которые в свою очередь подразумевают два уровня защиты (базовый и продвинутый).

Проведен ряд экспериментальных исследований, которые показали, что обработанная матрица содержит не менее 45 % изменений на уровне бит и 100 % изменений на уровне байт, что в условиях соответствия положения бит до и после обработки исключает доступ к защищенным данным со стороны злоумышленника без обратного преобразования, предполагающего знание или подбор ключевых параметров, что подтверждает полноту и корректность полученных решений.

Практическая значимость данной работы заключается в возможности применения полученных решений для развития методов криптографического преобразования. Данный метод имеет перспективы повышения быстродействия за счет интеграции вычислительных серверов в масштабе вычислительной системы.

Библиографический список

1. Тоффоли, Т. Машины клеточных автоматов / Т. Тоффоли, Н. Марголюс. – Москва : Мир, 1991. – 280 с.
2. Wuensche, A. Cellular automata encryption: the reverse algorithm, Z-parameter and chain-rules / A. Wuensche // *Parallel Processing Letters*. – 2009. – Vol. 19, № 2. – P. 283–297.
3. Ключарёв, П. Г. Блочные шифры, основанные на обобщённых клеточных автоматах / П. Г. Ключарёв // *Наука и образование*. – 2012. – № 12. – С. 27.
4. Kari, J. Reversibility and surjectivity problems of cellular automata / J. Kari // *Journal of Computer and System Science*. – 1994 – № 48(1). – P. 149–182.
5. Achkoun, K. SPF-CA: A new cellular automata based block cipher using key-dependent S-boxes / K. Achkoun, H. Khadija, C. Hanin, et al. // *Journal of Discrete Mathematical Sciences and Cryptography*. – 2019. – № 23. – P. 1–16.
6. Achkoun, K. SPF-CA-1.2: An enhanced version of cellular automata based block cipher system / K. Achkoun, C. Hanin, A. Sadak, et al. // *International Journal of Computer Mathematics: Computer Systems Theory*. – 2021. – № 2, vol. 6. – P. 1–17.
7. Росошек, С. К. Криптосистемы клеточных автоматов / С. К. Росошек, С. И. Боровков, О. О. Евсютин // *Прикладная дискретная математика*. – 2008. – № 1. – С. 43–49.
8. Добрица, В. П. Усовершенствование клеточного автомата на разбиении / В. П. Добрица, М. А. Ефремов, Д. М. Зарубин, А. А. Асютиков // *Инфокоммуникации и космические технологии: состояние, проблемы и пути решения* : сб. тр. 1 Всероссийской научно-практической конференции. – Курск, 2017. – С. 224–227.
9. Franti, E. Cellular Automata Encryption System / E. Franti, M. Dascalu // *Proceedings of the Fifth International Conference on Engineering Computational Technology*. – Civil-Comp Press, Stirlingshire, UK, 2021. – P. 283–297.
10. Марухленко, А. Л. Вариант организации многопоточной обработки конфиденциальных данных на базе клеточных автоматов / А. Л. Марухленко, А. В. Плугатарев, М. О. Таныгин, Л. О. Марухленко, Д. О. Бобынцев // *Известия Юго-Западного государственного университета*. – 2019. – Т. 23, № 3. – С. 100–112.
11. Lira, E. A reversible system based on hybrid toggle radius-4 cellular automata and its application as a block cipher / E. Lira, H. Macêdo, D. Lima, et al. // *Natural Computing*. – 2021. – № 2. – P. 1–34.
12. Кулешова, Е. А. Программа для многопоточного шифрования на базе клеточных автоматов / Е. А. Кулешова, А. Л. Марухленко, В. П. Добрица, М. О. Таныгин, Л. О. Марухленко // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019664789, 13.11.2019. – Заявка № 2019663418 от 29.10.2019. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41364754>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 03.03.2021).
13. Марухленко, А. Л. Анализ потенциальных уязвимостей и современных методов защиты многопользовательских ресурсов / А. Л. Марухленко, М. О. Марухленко, Е. Е. Конорева, М. О. Таныгин // *Инфокоммуникации и космические технологии: состояние, проблемы и пути решения* : II Всероссийская научно-практическая конференция. – Курск : ЮЗГУ, 2018. – С. 136–140.
14. Марухленко, А. Л. Вариант разграничения доступа к информационным ресурсам на основе неявной аутентификации / А. Л. Марухленко, А. В. Плугатарев, М. О. Таныгин, Л. О. Марухленко, М. Ю. Шашков // *Известия Юго-Западного государственного университета*. – 2020. – Т. 24, № 2. – С. 108–121.
15. Марухленко, А. Л. Комплексная оценка информационной безопасности объекта с применением математической модели для расчета показателей риска / А. Л. Марухленко, А. В. Плугатарев, М. О. Марухленко, М. А. Ефремов // *Известия Юго-Западного государственного университета*. – 2018. – Т. 8, № 4 (29). – С. 34–40.
16. Kumaresan, G. An Analytical Study of Cellular Automata and its Applications in Cryptography / G. Kumaresan, N. Gopalan // *International Journal of Computer Network and Information Security*. – 2017. – № 12. – P. 45–54.
17. Зотов, Я. А. Использование клеточных автоматов в симметричной криптосистеме / Я. А. Зотов // *Вопросы кибербезопасности*. – 2015. – Т. 11, № 3. – С. 43–45.

References

1. Toffoli, T., Margolus, N. *Mashiny kletochnykh avtomatov* [Machines of cellular automata]. Moscow, Mir Publ., 1991. 280 p.
2. Wuensche, A. Cellular automata encryption: the reverse algorithm, Z-parameter and chain-rules. *Parallel Processing Letters*, 2009, vol. 19, no. 2, pp. 283–297.
3. Klyucharyov, P. G. Blochnyye shifry, osnovannyye na obobshchennykh kletochnykh avtomatakh [Block ciphers based on generalized cellular automata]. *Nauka i obrazovaniye* [Science and education], 2012, no. 12, p. 27.
4. Kari, J. Reversibility and surjectivity problems of cellular automata. *Journal of Computer and System Science*, 1994, no. 48 (1), pp. 149–182.

5. Achkoun, K., Khadija, H., Hanin C. et al. SPF-CA: A new cellular automata based block cipher using key-dependent S-boxes. *Journal of Discrete Mathematical Sciences and Cryptography*, 2019, no. 23, pp. 1–16.
6. Achkoun, K., Hanin, C., Sadak, A. et al. SPF-CA-1.2: An enhanced version of cellular automata based block cipher system. *International Journal of Computer Mathematics: Computer Systems Theory*, 2021, no. 2, vol. 6, pp. 1–17.
7. Rososhek, S. K., Borovkov, S. I., Evsyutin, O. O. Kriptosistemy kletochnykh avtomatov [Cryptosystems of cellular automata]. *Prikladnaya diskretnaya matematika* [Applied discrete mathematics], 2008, no. 1, pp. 43–49.
8. Dobritsa, V. P., Efremov, M. A., Zarubin, D. M., Asyutikov, A. A. Usovershenstvovaniye kletochnogo avtomata na razbiyeni [Improvement of a cellular automaton on a partition]. *Infokommunikatsii i kosmicheskiye tekhnologii: sostoyaniye, problemy i puti resheniya : sbornik trudov I Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Infocommunications and space technologies: state, problems and solutions : collection of works of the 1st All-Russian Scientific and Practical Conference]. Kursk, 2017, pp. 224–227.
9. Franti, E., Dascalu, M. Cellular Automata Encryption System. *Proceedings of the Fifth International Conference on Engineering Computational Technology*. Civil-Comp Press, Stirlingshire, UK, 2021, pp. 283–297.
10. Marukhlenko, A. L., Plugatarev, A. V., Tanygin, M. O., Marukhlenko, L. O., Bobintsev, D. O. Variant organizatsii mnogopotchnoy obrabotki konfidentsialnykh dannykh na baze kletochnykh avtomatov [A Variant of the Organization of Multithreaded Processing of Confidential Data Based on Cellular Automata]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Southwest State University], 2019, vol. 23, no. 3, pp. 100–112.
11. Lira, E., Macêdo, H., Lima, D. et al. A reversible system based on hybrid toggle radius-4 cellular automata and its application as a block cipher. *Natural Computing*, 2021, no. 2, pp. 1–34.
12. Kuleshova, E. A., Marukhlenko, A. L., Dobritsa V. P., Tanygin, M. O., Marukhlenko L. O. *Programma dlya mnogopotchnogo shifrovaniya na baze kletochnykh avtomatov* [A Program for Multithreaded Encryption Based on Cellular Automata]. Certificate of registration of a computer program RU 2019664789, 11.13.2019. Application no. 2019663418 dated October 29, 2019. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41364754> (accessed 03.16.2021).
13. Marukhlenko, A. L., Marukhlenko, L. O., Konoreva, E. E., Tanygin, M. O. Analiz potentsialnykh uyazvimostey i sovremennykh metodov zashchity mnogopolzovatel'skikh resursov [Analysis of Potential Vulnerabilities and Modern Methods of Protecting Multi-User Resources]. *Infokommunikatsii i kosmicheskiye tekhnologii: sostoyaniye, problemy i puti resheniya : II Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya* [Infocommunications and Space Technologies: State, Problems and Solutions : II All-Russian Scientific and Practical Conference]. Kursk, 2018, pp. 136–140.
14. Marukhlenko, A. L., Plugatarev, A. V., Tanygin, M. O., Marukhlenko, L. O., Shashkov, M. Yu. Variant razgranicheniya dostupa k informatsionnym resursam na osnove neyavnoy autentifikatsii [Variant of Differentiation of Access to Information Resources Based on Implicit Authentication]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Southwest State University], 2020, vol. 24, no. 2, pp. 108–121.
15. Marukhlenko, A. L., Plugatarev, A. V., Marukhlenko, L. O., Efremov, M. A. Kompleksnaya otsenka informatsionnoy bezopasnosti obekta s primeneniye matematicheskoy modeli dlya rascheta pokazateley riska [Comprehensive Assessment of the Information Security of an Object Using a Mathematical Model for Calculating Risk Indicators]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Southwest State University], 2018, vol. 8, no. 4 (29), pp. 34–40.
16. Kumaresan, G., Gopalan, N. An Analytical Study of Cellular Automata and its Applications in Cryptography. *International Journal of Computer Network and Information Security*, 2017, no. 12, pp. 45–54.
17. Zotov, Ya. A. Ispolzovaniye kletochnykh avtomatov v simmetrichnoy kriptosisteme [The use of cellular automata in a symmetric cryptosystem]. *Voprosy kiberbezopasnosti* [Issues of cybersecurity], 2015, vol. 11, no. 3, pp. 43–45.

УДК 004.001

ДВУХФАКТОРНАЯ БИОМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА АУТЕНТИФИКАЦИИ¹*Статья поступила в редакцию 29.07.2021, в окончательном варианте – 14.10.2021.*

Рассохин Данила Константинович, Кубанский государственный университет, 350040, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149.

студент, e-mail: danilarassokhin@gmail.com

Лукащик Елена Павловна, Кубанский государственный университет, 350040, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149,

кандидат физико-математических наук, доцент, e-mail: lep_9091@mail.ru

Целью работы является разработка специализированного сервиса для аутентификации пользователей на основе их биометрических данных – уникальных физиологических или поведенческих особенностей человека. Такой способ расширенной аутентификации может быть использован в системах, где безопасность данных имеет особое значение, например в финансовых системах. В статье рассмотрены некоторые виды биометрических данных, используемые в современных системах защиты: голос и отпечатки пальцев, а также методы их сбора и обработки. Проанализированы биометрические системы, рассмотрены их преимущества и недостатки. Такие системы представляются самыми удобными для пользователя, так как не требуют дополнительного запоминания каких-либо данных или владения физическими предметами. Однако биометрические системы являются гораздо более затратными для владельцев данных систем. Отмечены также имеющиеся место риски взлома активов биометрических данных. Учитывая аппаратную мощь и наличие интерфейсного программного обеспечения, а также широкую аудиторию пользователей современных мобильных устройств, предложен мобильный вариант сервиса двухфакторной биометрической аутентификации. Распознавание отпечатков пальцев выполняется с помощью стандартных средств ОС Android – Biometric API. Для распознавания голоса использован метод, основанный на коэффициентах линейного предсказания (LPC). Разработан специальный протокол аутентификации пользователей сторонних приложений через данный сервис. С целью предотвращения компрометации биометрических данных используется метод шифрования на основе диофантовых уравнений.

Ключевые слова: безопасность, аутентификация, биометрия, распознавание голоса, распознавание отпечатков пальца, двухфакторная аутентификация, диофантовы уравнения

TWO-FACTOR BIOMETRIC AUTHENTICATION SYSTEM*The article was received by the editorial board on 29.07.2021 in the final version – 14.10.2021.*

Rassokhin Danila K., Kuban State University, 149, Stavropolskay St., Krasnodar, 350040, Russian Federation,

student, e-mail: danilarassokhin@gmail.com

Lukashchik Elena P., Kuban State University, 149, Stavropolskay St., Krasnodar, 350040, Russian Federation.

Cand. Sci. (Physics and Mathematics), Associate Professor, e-mail: lep_9091@mail.ru

The aim of the work is to develop a specialized service for two-factor authentication of users based on their biometric data namely unique physiological or behavioral person characteristics. This extended authentication method can be used in systems where data security is of particular importance, for example, in financial systems. Some types of biometric data used in modern security systems are discussed in the article namely voice and fingerprints, as well as methods for collecting and processing them. Biometric systems are analyzed, their advantages and disadvantages are considered. Such systems seem to be the most convenient for the user since they do not require additional memorization of any data or possession of physical objects. However, biometric systems are much more expensive for the owners of these systems. The risks of hacking biometric data assets were also noted. Considering the hardware power and availability of interface software, as well as a wide audience of users of modern mobile devices, a mobile version of the two-factor biometric authentication service has been proposed. Fingerprint recognition is performed using standard Android OS tools – Biometric API. A method based on Linear Prediction Coefficients (LPC) is used for voice recognition. To apply of this service for authenticating of users by third-party applications special protocol has been developed. To prevent compromise of biometric data, an encryption method based on Diophantine equations is used.

Keywords: information security, authentication, biometric, speaker recognition, fingerprint recognition, two-factor authentication, Diophantine equations

¹ Работа поддержана грантом РФФИ № 19-01-00596 «Теоретико-численные и алгоритмические аспекты разработки математических моделей систем защиты информации, содержащих диофантовы трудности».

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. Характерные для традиционных систем защиты проблемы паролей, использование которых сопряжено с рисками информационной безопасности, эффективно решают современные технологии биометрических методов защиты информации. Биометрические системы приспособлены под идентификацию личности без возможности передачи ключа и являются более удобными с точки зрения пользователя. Биометрические данные, уникальные для каждого человека, гарантируют надёжность проверки.

Внедрение биометрических систем распознавания в деятельность современного человека может упростить процессы получения доступа к информации, так как многие современные устройства, например смартфоны, могут производить сбор биометрических данных без дополнительного оборудования, что делает такие системы более удобными для конечных пользователей. В дополнение к традиционным методам защиты они помогают автоматизировать процессы поведенческого анализа и обнаруживать нелегальных пользователей.

В последние годы по данным специалистов Comparitech [3] во многих странах, в особенности в Китае, Пакистане, Малайзии, США и Индии, очень активно ведётся сбор биометрических данных. Так в системе биометрических данных Индии зарегистрировано больше 80 % населения страны, биометрические данные используются во всех сферах – от финансов до образования и государственных услуг.

Несмотря на указанные преимущества, биометрическим системам присущи и недостатки. Во-первых, биометрическая информация, как и любая другая, уязвима. Информационные системы то и дело подвергаются хакерским атакам, и часть информации попадает в руки злоумышленников. Правоохранительным органам не всегда удается должным образом организовать контроль ее безопасности. Так в последнее время замечен ряд случаев утечки биометрических данных в Китае [5]. И уникальность биометрических данных из достоинства превращается в недостаток: при их компрометации злоумышленник получает доступ ко всем активам с биометрической аутентификацией. Во-вторых, биометрические системы бывают также и технологически несовершенны. Наличие указанных уязвимостей, а также отсутствие надёжных систем безопасности приводит к тому, что большинство компаний – потенциальных заказчиков пока ещё не готово к масштабному переходу на биометрию. Широкое применение подобных систем в настоящее время сопряжено с высоким уровнем риска.

Рост числа внутренних и внешних рисков постоянно выдвигает перед разработчиками биометрических систем требование по обеспечению надлежащего уровня защищенности. Рынок биометрии остро нуждается в новых решениях, повышающих доверие к своим продуктам.

Для обеспечения должного уровня безопасности в последнее время все больше систем защиты переходят на многофакторную аутентификацию, где для доказательства аутентификации используется несколько различных и взаимодополняемых механизмов доказательства права на доступ. Для предотвращения взлома баз биометрических сигнатур необходимо для шифрования биометрических данных использовать алгоритмы, устойчивые к квантовым вычислениям. Высокую криптостойкость, например, имеют криптоалгоритмы, основанные на теории диофантовых уравнений [7].

Основные понятия биометрической аутентификации. Аутентификация (authentication) – процедура проверки принадлежности субъекту доступа предъявленного им идентификатора. Биометрический метод аутентификации использует биометрические данные пользователя – уникальные физиологические или поведенческие особенности человека. Данный способ является самым удобным для пользователя, так как для аутентификации нет необходимости запоминать какую-либо информацию или владеть определенным объектом. Человек сам становится «ключом» к информации. Однако у такого способа есть существенная проблема: оборудование для биометрической аутентификации должно иметь достаточно высокую точность определения, чтобы различать людей со схожими данными.

Все биометрические данные можно разделить на два класса:

- статические – физиологические особенности, которые не подвержены изменениям в течение длительного периода времени;
- динамические – поведенческие характеристики, основанные на особенностях движения человека. Для обозначения этого класса биометрии часто используется термин «behaviometrics».

Примеры статических биометрических данных: отпечатки пальцев или рисунок папиллярных линий; радужная оболочка глаза; сетчатка глаза; рисунок вен; лицо; геометрия руки; ДНК.

К динамическим, например, можно отнести следующие данные: почерк и динамика подписи; голос и ритм речи; распознавание жестов; динамика нажатия клавиш; походка.

Биометрические системы могут работать в двух режимах [13]:

- верификация, основанная на биометрическом параметре и на уникальном идентификаторе, который выделяет конкретного человека (сравнение один к одному).
- идентификация, основанная на биометрических измерениях. При этом измеренные параметры сравниваются со всеми записями из базы зарегистрированных пользователей, а не с одной из них, выбранной на основании какого-то идентификатора (сравнение один ко многим).

Многофакторная аутентификация. Многофакторная аутентификация – расширенная аутентификация, метод контроля доступа, в котором пользователю для получения доступа к информации необходимо предъявить более одного фактора аутентификации. Каждый фактор аутентификации охватывает ряд элементов, используемых для аутентификации или проверки личности лица до предоставления доступа.

Способы аутентификации могут быть сгруппированы в три основные категории [1]:

1. Факторы *знания* – это то, что пользователь знает, например, пароль, PIN-код, ответ на секретный вопрос и т.д.

2. Факторы *свойства* – это то, что является частью нас, например, отпечаток пальца, подпись, голос и т.д.

3. Факторы *владения* – это то, что у пользователя есть, например, бесконтактная идентификационная карта, сотовый телефон, физический ключ и т.д.

Сочетание нескольких типов механизмов аутентификации позволяет повысить и уровень безопасности, и эффективность работы систем безопасности, так как количество возможных ошибок, в целом присущих биометрическим системам, снижается.

Многофакторная аутентификация не стандартизирована. Существуют различные формы её реализации. Наиболее распространена двухфакторная аутентификация. Двухфакторная аутентификация – это метод идентификации пользователя в каком-либо сервисе при помощи запроса аутентификационных данных двух разных типов, что обеспечивает двухслойную, а значит, более эффективную защиту аккаунта от несанкционированного проникновения.

Для повышения надежности и эффективности в системах контроля доступа все чаще применяются биометрический способ идентификации. В данной работе представляется вариант системы двухфакторной аутентификации с двумя биометрическими факторами, применяется механизм аутентификации в виде свойства. Для получения биометрических сигнатур пользователя используются технологии распознавания отпечатков пальцев и голоса человека [6], основные положения которых представлены ниже.

Распознавание отпечатков пальцев. Технология распознавания по отпечаткам пальцев является одной из самых распространенных биометрических технологий в мире. Немецкий анатом И. К. Майер в 1788 г. [2] открыл уникальность отпечатков пальцев. Долгое время отпечатки пальцев являлись универсальным источником биометрических характеристик. Многолетний опыт применения биометрических систем на основе отпечатков пальцев подтверждает удобство их использования и высокую надежность.

Компактность современных сканеров отпечатков пальцев позволяет внедрять их в различные устройства ввода. Благодаря встроенным в смартфоны сканерам можно разблокировать мобильное устройство, оплатить покупки в интернете. В ближайшем будущем планируется внедрить подобные технологии и в другие устройства общего пользования, например в банкоматы и даже в метрополитене для замены билетов. Широко используются отпечатки пальцев в криминалистике для поиска и идентификации преступников. Ряд стран требуют сдачи отпечатков пальцев при оформлении визы, например страны Шенгенского соглашения. В России биометрические заграничные паспорта содержат записанные на микросхему отпечатки пальцев. В последнее время разрабатывается методика использования отпечатков пальцев для дерматоглифических исследований (способ тестирования организма человека, основанный на изучении признаков узоров на коже ладонной стороны кистей и стоп).

Распознавание голоса. Использование биометрии по голосу человека сложнее и интереснее чем использование большинства биометрических признаков. Технология распознавания голоса

попадает в сферы и физиологических, и поведенческих биометрических данных. С физиологической точки зрения такие системы распознают форму голосового тракта человека, включая нос, рот и гортань, определяют производимый звук. С поведенческой точки зрения они фиксируют то, как человек что-либо говорит – вариации движений, тон, темп, акцент и т.д., что также является уникальным для каждого человека. Объединение данных физической и поведенческой биометрии создаёт точную голосовую подпись.

Однако, поскольку голос человека может меняться в зависимости от возраста, эмоционального состояния, здоровья, гормонального фона и целого ряда других факторов, метод не является абсолютно точным.

Голосовая идентификация одна из самых притягательных для идентификации, но существующие на данный момент проблемы необходимо учитывать при внедрении в работающие бизнесы. Распознавание голоса эффективно используется как дополнительный метод в многофакторных системах.

Практическая реализация. Стремительное распространение мобильных технологий значительно расширило аудиторию пользователей мобильных устройств, что стимулирует развитие рынка мобильных приложений различного предназначения. При разработке мобильных приложений мощность современных мобильных платформ и API-интерфейсов позволяет использовать все возможности аппаратного обеспечения. В данной работе для мобильных платформ предлагается вариант системы аутентификации, использующей статические и динамические характеристики человека (распознавание голоса и отпечатков пальцев). Разработанная биометрическая система представляет собой клиент-серверное мобильное приложение для двухфакторной аутентификации пользователя через специальный протокол (рис. 1).

Биометрическая идентификация представляет собой процесс сравнения и определения сходства между представленными пользователем биометрическими данными и соответствующего этим данным цифрового эталона, отражающего уникальные биометрические характеристики этого пользователя [4]. Эталонная модель биометрических характеристик человека предварительно формируется на основе одного или несколько биометрических образцов и сохраняется в базе данных. Для работы с базой биометрических данных в предложенном сервисе аутентификации используется СУБД PostgreSQL. Информация о пользователях и их биометрические цифровые сигнатуры в базе данных хранятся в зашифрованном виде. Для шифрования данных используется алгоритм SOLDEEA, основанный на линейных диофантовых уравнениях [12]. Согласно работам К. Шеннона [11], криптографические схемы, содержащие диофантовы трудности, наиболее устойчивы к взлому, что положительно скажется на безопасности биометрических данных и повысит уровень доверия пользователей к биометрическим системам аутентификации.

Серверное приложение сервиса, написанное на языке Java, обеспечивает доступ к биометрическим данным пользователей, авторизацию пользователей в сервисе, а также распознавание отпечатков пальцев и голоса. Сервис предоставляет возможность интеграции двухфакторной аутентификации в сторонних приложениях.



Рисунок 1 – Структура системы

Серверное приложение делится на 2 основные части:

- интерфейс для сторонних приложений позволяет сторонним приложениям взаимодействовать с сервисом и производить аутентификацию;
- интерфейс для пользователей позволяет пользователям взаимодействовать с сервисом: добавлять биометрическую сигнатуру определенного вида, подтверждать аутентификацию.

Чтобы настроить аутентификацию, администратору стороннего приложения необходимо зарегистрировать в сервисе свое приложение (так называемый проект). Для этого администратор должен указать название, описание своего приложения и домен, которые в дальнейшем будет видеть пользователь при аутентификации с помощью мобильного сервиса. Это нужно для того, чтобы пользователь мог определить приложение, в котором он хочет произвести аутентификацию. После создания проекта администратор получает от сервера сервиса секретный ключ проекта, который в дальнейшем используется для создания запросов на аутентификацию.

Клиентское приложение написано на языке Java для операционной системы Android. Оно предоставляет базовый функционал для пользователей сервиса:

- авторизация/регистрация;
- добавление/удаление биометрических данных;
- аутентификация в сторонних приложениях.

Протокол для аутентификации пользователя в стороннем приложении выглядит следующим образом (рис. 2):

- стороннее приложение отправляет сервису запрос на авторизацию, в котором передает секретный ключ, уникальный для каждого приложения, и идентификатор пользователя в сервисе;
- сервис возвращает стороннему приложению код авторизации;
- стороннее приложение показывает код авторизации пользователю;
- пользователь вводит данный код в мобильном приложении-аутентификаторе;
- пользователь выбирает способ и выполняет аутентификацию;
- при успешной аутентификации сервис отправляет пользователю код аутентификации;
- пользователь вводит код аутентификации в стороннем приложении;
- стороннее приложение проверяет код аутентификации.

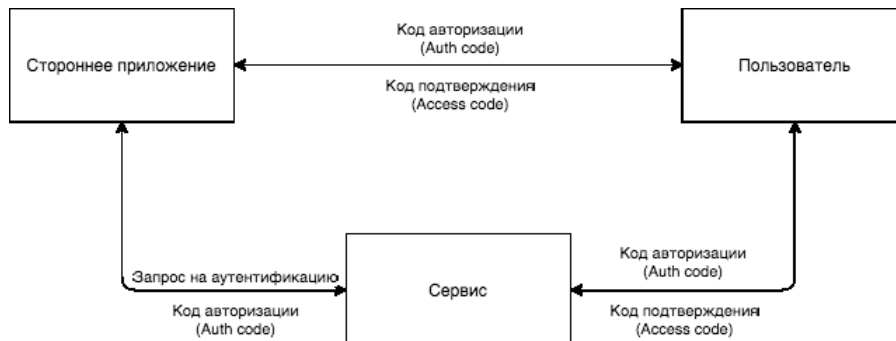


Рисунок 2 – Протокол аутентификации

После отправки запроса на аутентификацию пользователя стороннее приложение получает код авторизации, для генерации которого используется алгоритм создания одноразовых паролей для защищенной односторонней аутентификации TOTP (**Time-based One-Time Password Algorithm**).

$$AuthCode = TOTP(ProjectSecret + UserID, AuthTime),$$

ProjectSecret – секретный ключ проекта,

AuthTime – время действия кода,

UserID – идентификатор пользователя в системе

Данный код позволяет одновременно идентифицировать запрос на авторизацию и установить ограничение по времени для запроса.

После этого стороннее приложение должно принять от пользователя код-подтверждение, который генерируется сервисом при успешной аутентификации:

$$AccessCode = TOTP(ProjectSecret + UserToken, AuthTime),$$

ProjectSecret – секретный ключ проекта,

AuthTime – время действия кода,

UserToken – специальный токен пользователя в сервисе.

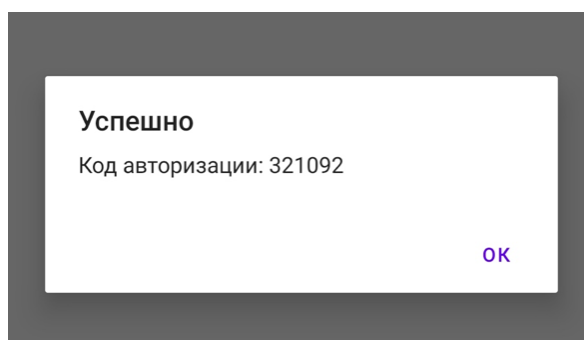


Рисунок 3 – Экран успешной аутентификации

Полученный от пользователя код подтверждения можно проверить путем отправки сторонним приложением соответствующего запроса сервису.

Реализованный в системе метод распознавания по голосу позволяет подключать для идентификации личности человека уникальные характеристики его голоса. Для записи аудио с микрофона устройства используется стандартный интерфейс ОС Android – AudioRecord. В процессе записи голос сохраняется в виде аудио файла в формате WAV (рис. 4).

Прочтите данный текст:
Идейные соображения высшего порядка, а также рамки и место обучения кадров играет важную роль в формировании систем массового участия. Задача организации, в особенности же укрепление и развитие структуры позволяет выполнять важные задания по разработке существенных финансовых и административных условий.

НАЧАТЬ ЗАПИСЬ

Рисунок 4 – Стартовое окно аутентификации по голосу

Распознавание говорящего производится с помощью библиотеки Recognito [9] на сервере. Для преобразования аудио файла в цифровой код используется алгоритм линейного предсказания LPC (Linear Prediction Coefficients). Коэффициенты линейного предсказания отражают главные голосовые характеристики человека, необходимые для принятия решения о личности диктора: голосовой источник, резонансные частоты речевого тракта и их затуханий, а также динамика управления артикуляцией [10]. На рисунке 5 показаны этапы получения цифровой сигнатуры голоса:

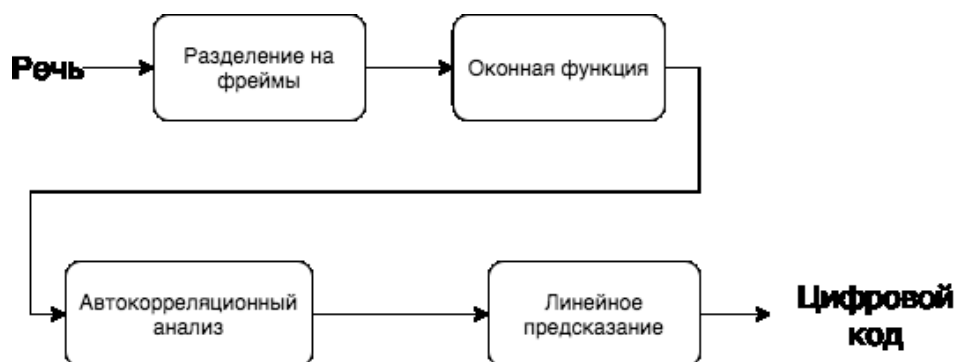


Рисунок 5 – Схема получения цифровой сигнатуры голоса

Полный алгоритм аутентификации пользователя по голосу в сервисе:

- получение на вход аудиофайла;
- создание цифровой сигнатуры из полученного аудиофайла;

- извлечение для данного пользователя из базы данных существующей эталонной сигнатуры голоса пользователя;
 - сравнение полученного образца с эталонным и сигнатурами, созданными на основе других голосов и различного шума, на основе результатов сравнения считается отношение правдоподобия, которое показывает вероятность, того, что полученный образец близок к эталонному.
 - аутентификация считается успешной, если результат отношения правдоподобия для полученного образца превысил определенную отметку (0–100). В данной реализации отметка равна 90.
- Цифровая сигнатура хранится в базе и используется для аутентификации в виде массива десятичных чисел, отражающих характеристики голоса (рис. 6).

| Сигнатуры | |
|-----------|---|
| 1 | 3006825070091830060157886896097390655639068249336830248561 |
| 2 | 10097489184822975494-16301306204789140886/190974890170849168 |
| 3 | 16401510918354869200-2189672861322978432/1640151108961893054 |

Рисунок 6 – Пример хранения отпечатка голоса в зашифрованном виде

Для аутентификации по отпечатку пальца приложение использует стандартные возможности ОС Android – Biometric API (Automated Biometric Identification System). После считывания сканером уникальный рисунок трансформируется в цифровой биометрический шаблон. Затем интерфейс сохраняет необходимые для распознавания данные в специальное защищенное хранилище – Android Keystore. Система гарантирует безопасность данных в этом хранилище от несанкционированного доступа. Приложение использует 3 класс безопасности, что не позволяет пользователю использовать пароль устройства или другие методы вместо отпечатка пальцев.

Последовательность действий сервиса при использовании для аутентификации отпечатков пальцев:

- пользователь включает аутентификацию по отпечаткам пальцев в приложении;
- сервис генерирует случайную строку и отправляет ее пользователю, строка сохраняется в базе данных сервиса;
- приложение шифрует полученную строку специальным ключом, зашифрованная строка сохраняется в памяти приложения, а ключ для дешифрования – в специальное хранилище;
- при аутентификации пользователь использует отпечаток пальца, и приложение получает доступ к ключу дешифрования, после чего сохраненная в памяти приложения строка расшифровывается и отправляется на сервер для проверки.

Цифровая сигнатура отпечатков пальцев представляется в виде строки, состоящей из английских букв и цифр.

Оценка работы. Для определения эффективности представленного сервиса аутентификации используем F-меру (F-measure) [14], применяемую для оценки точности алгоритмов распознавания:

$$F_{\beta} = (\beta^2 + 1) \cdot \frac{Precision \cdot Recall}{\beta^2 \cdot Precision + Recall}$$

$$0 < F_{\beta} < 1.$$

Данная метрика учитывает и объединяет в себе меру точности и полноты алгоритма.

Расчет точности произведем на основе выборки из 100 различных пользователей.

Для начала вычислим количество ошибок первого и второго рода, т.е. количество ложноположительных и ложноположительных результатов, а также количество истинно положительных и истинно отрицательных результатов. Получим следующую таблицу.

Таблица – Результаты распознавания

| Верная гипотеза / результат распознавания | Верно | Неверно |
|---|--|---|
| Верно | 51 (верно принятых TP) | 11 (неверно принятых, ошибки второго рода FP) |
| Неверно | 18 (неверно отвергнутых, ошибки первого рода FN) | 20 (верно отвергнутых TN) |

Точность (*Precision*) вычислим по формуле:

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}.$$

В нашем случае имеем:

$$Precision = \frac{51}{51 + 11} \approx 0,82.$$

Далее вычислим полноту (*Recall*) по формуле:

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}.$$

Получим следующее значение:

$$Recall = \frac{51}{51 + 18} \approx 0,74.$$

F-мера вычисляется на основе значений полноты и точности. Чтобы добавить одной из этих величин определенный вес, то есть увеличить значимость при оценке, используется параметр β :

$$\begin{cases} 0 < \beta < 1, \text{ если важна точность} \\ \beta > 1, \text{ если важна полнота} \end{cases}.$$

В нашем случае большее значение имеет точность, поэтому выберем параметр $\beta = 0,5$.

Вычислим F-меру:

$$F_2 = (0,5^2 + 1) \cdot \frac{0,82 \cdot 0,74}{0,5^2 \cdot 0,82 + 0,74} \approx 0,79.$$

Таким образом, точность реализованного в сервисе биометрической аутентификации алгоритма составляет $\sim 79\%$.

Применением более точных алгоритмов можно улучшить точность распознавания голоса. Например, коэффициенты линейного предсказания (LPC) заменить на мел-частотные кепстральные коэффициенты (MFCC), а при создании сигнатуры голоса использовать модель смеси Гауссовых распределений (GMM) [15].

Заключение. Проверка личности используется как в простых системах для усиленной аутентификации, так и для подтверждения личности пользователя в различных критически важных операциях. Представленный мобильный сервис разработан с целью обеспечения проверки личности по требованию любого стороннего приложения, где требуются высокие стандарты безопасности.

Реализация сервиса под мобильные платформы выполнена с целью улучшить удобство его использования для широкой аудитории пользователей. Согласно проведенному аналитической компанией Pew Research Center [8] социальному опросу более 60 % взрослого населения пользуются смартфонами. Описанный в работе сервис устанавливается как приложение на смартфонах под операционную систему Android. При помощи разработанного специализированного протокола любое стороннее приложение может обратиться к сервису для дополнительной проверки права доступа.

Использование современных биометрических технологий защиты информации в данном сервисе гарантирует надёжность проверки вследствие уникальности биометрических данных.

Дополнительное сочетание в системе двухфакторной аутентификации нескольких механизмов биометрического доказательства права положительно сказывается как на уровне безопасности, так и на эффективности процесса аутентификации.

Шифрование конфиденциальной информации криптографическим методом, основанным на диофантовых уравнениях, направлено на уменьшение риска несанкционированного доступа к биометрическим данным в сервисе. Известно, что в общей постановке задача решения диофантовых уравнений в целых числах алгоритмически неразрешима, что приводит к высокой криптостойкости подобных алгоритмов шифрования.

Библиографический список

1. Петруненок, А. Эра биометрики / А. Петруненок // Директор информационной службы. – 2003. – № 12. – 24 дек.
2. История биометрии: от древности до начала XX века. – Режим доступа: <https://worldvision.com.uk>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 13.02.2021).
3. Biometric data collection by country. – Режим доступа: <https://www.comparitech.com>, свободный. – Заглавие с экрана. Яз. англ. (дата обращения: 24.01.2021).
4. Jain, A. K. An introduction to biometric recognition / A. K. Jain, Arun Ross & Salil Prabhakar // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. – 2004. – Vol. 14t (1). – P. 4–20.
5. Kaspersky reports surge in cyber-attacks on selfies and others biometry // Biometric technology today. January 2020. – Режим доступа: <https://www.biometricstoday.com>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 15.03.2021).

6. Ometov, Aleksandr. Multi-Factor Authentication: A Survey / Aleksandr Ometov, Sergey Bezzateev, Niko Mäkitalo, Sergey Andreev, Tommi Mikkonen, Yevgeni Koucheryavy. – 2018.
7. Quantized Convolutional Neural Networks for Mobile Devices. – Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/1512.06473>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 24.02.2021).
8. Osipyan, V. O. Development of information security system mathematical models by the solutions of the multigrade Diophantine equation systems / V. O. Osipyan, K. I. Litvinov, R. Kh. Bagdasaryan, E. P. Lukashchik, S. G. Sinita, A. S. Zhuk. – ACM Press, 2019. – P. 1–8.
9. Recognito: Text Independent Speaker Recognition in Java. – Режим доступа: <https://github.com/amaurycrickx/recognito>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 16.02.2021).
10. Sabur, Ajibola Alim. Some Commonly Used Speech Feature Extraction / Sabur Ajibola Alim and Nahrul Khair Alang Rashid // Algorithms From Natural to Artificial Intelligence – Algorithms and Applications. – 2018.
11. Shor, P. Algorithms for Quantum Computation: Discrete Logarithms and Factoring / P. Shor // Foundations of Computer Science : Proceedings of the 35th Annual Symposium – IEEE, 1994. – P. 124–134.
12. SOLDEEA – Encryption algorithm based on system of linear diophantine equations. – Режим доступа: <https://github.com/CrissNamon/soldeea>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 12.04.2021).
13. Sushil, Phadke. The Importance of a Biometric Authentication System / Sushil Phadke // The SIJ Transactions on Computer Science Engineering & its Applications (CSEA). – 2013.
14. Yutaka, Sasaki. The truth of the F-measure / Yutaka, Sasaki // School of Computer Science. – University of Manchester, 2007.
15. G. Suvarna, Kumar. Speaker recognition using GMM / G. Suvarna, Kumar // International Journal of Engineering Science and Technology. – 2010. – Vol. 2 (6). – P. 2428–2436.

References

1. Petrunenkov, A. Era biometriki [The Era of Biometrics]. *Direktor informatsionnoy sluzhby* [Director of Information Services], 2003, no. 12, December 24.
2. *Istoriya biometrii: ot drevnosti do nachala XX veka* [The history of biometrics: from antiquity to the beginning of the XX-th century]. Available at: <https://worldvision.com.uk> (accessed 13.02.2021).
3. *Biometric data collection by country*. Available at: <https://www.comparitech.com> (accessed 24.01.2021).
4. Jain, A. K. Ross, Arun, Prabhakar, Salil. An introduction to biometric recognition. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2004, vol. 14 (1), p. 4–20.
5. Kaspersky reports surge in cyber-attacks on selfies and others biometry. *Biometric technology today. January 2020*. Available at: <https://www.biometricstoday.com> (accessed 15.03.2021).
6. Ometov, Aleksandr, Bezzateev, Sergey, Mäkitalo, Niko, Andreev, Sergey, Mikkonen, Tommi, Koucheryavy, Yevgeni. *Multi-Factor Authentication: A Survey*, 2018.
7. Osipyan, V. O., Litvinov, K. I., Bagdasaryan, R. Kh., Lukashchik, E. P., Sinita, S. G., Zhuk, A. S. *Development of information security system mathematical models by the solutions of the multigrade Diophantine equation systems*. ACM Press, 2019, pp.1–8.
8. *Quantized Convolutional Neural Networks for Mobile Devices*. Available at: <https://arxiv.org/abs/1512.06473> (accessed 24.02.2021).
9. *Recognito: Text Independent Speaker Recognition in Java*. Available at: <https://github.com/amaurycrickx/recognito> (accessed 16.02.2021).
10. Sabur, Ajibola Alim, Nahrul, Khair Alang Rashid. Some Commonly Used Speech Feature Extraction. *Algorithms From Natural to Artificial Intelligence – Algorithms and Applications*, 2018.
11. Shor, P. Algorithms for Quantum Computation: Discrete Logarithms and Factoring. *Foundations of Computer Science : Proceedings of the 35th Annual Symposium on – IEEE*, 1994, pp. 124–134.
12. SOLDEEA – Encryption algorithm based on system of linear diophantine equations. Available at: <https://github.com/CrissNamon/soldeea> (accessed 12.04.2021).
13. Sushil, Phadke. The Importance of a Biometric Authentication System. *The SIJ Transactions on Computer Science Engineering & its Applications (CSEA)*, 2013.
14. Yutaka, Sasaki. The truth of the F-measure. *School of Computer Science*. University of Manchester, 2007.
15. G. Suvarna, Kumar. Speaker recognition using GMM. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2010, vol. 2 (6), pp. 2428–2436.

DOI 10.21672/2074-1707.2021.56.4.075-086
УДК 004.056.5

ОЦЕНКА ИНФРАСТРУКТУРНОЙ ЦЕЛОСТНОСТИ СУБЪЕКТА КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРИ ДЕСТРУКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ¹

Статья поступила в редакцию 05.09.2021, в окончательном варианте – 13.10.2021.

Максимова Елена Александровна, Российский технологический университет МИРЭА, 119454, Российская Федерация, г. Москва, пр. Вернадского, 78, кандидат технических наук, доцент, ORCID https://orcid.org/0000_0001_8788-4256, e-mail: maksimova@mire.ru

С введением ФЗ №187 «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» изменились проблемные ориентиры в сфере информационной безопасности. Принятые регуляторами требования к обеспечению безопасности объектов критической информационной инфраструктуры (КИИ) корректируются, исходя из возникающих на субъектах КИИ проблем и пробелов на нормативном уровне. В качестве одной из них обозначена проблема комплексной оценки информационной безопасности субъекта КИИ с учетом систем взаимодействия на инфраструктурном уровне, где важный показатель – инфраструктурная целостность субъекта КИИ при деструктивных воздействиях. Данный показатель не является стандартной топологической характеристикой с точки зрения системного подхода и теории надежности систем. В предложенном методе он вводится для определения значения соответствующего концепта комплексной когнитивной модели «Оценка информационной безопасности субъекта КИИ». Показатель инфраструктурной целостности субъекта КИИ напрямую определяется целостностью подсистем взаимодействующих объектов (ПВО) субъекта КИИ. Оценка целостности ПВО субъекта КИИ – интегративный показатель, отражающий степень соответствия фактического или прогнозируемого состояния информационной инфраструктуры соответствующим требованиям. Предложенный метод оценки инфраструктурной целостности субъекта КИИ при деструктивных воздействиях позволяет снизить неопределенность в комплексной оценке ИБ субъекта КИИ, и может быть использован в системе проактивного управления КИИ РФ.

Ключевые слова: деструктивное воздействие, критическая информационная инфраструктура, объекта, субъект, инфраструктурная целостность, подсистема взаимодействующих объектов

ASSESSMENT OF THE INFRASTRUCTURAL INTEGRITY OF THE SUBJECT OF CRITICAL INFORMATION INFRASTRUCTURE UNDER DESTRUCTIVE INFLUENCES

The article was received by the editorial board on 05.09.2021, in the final version – 13.10.2021.

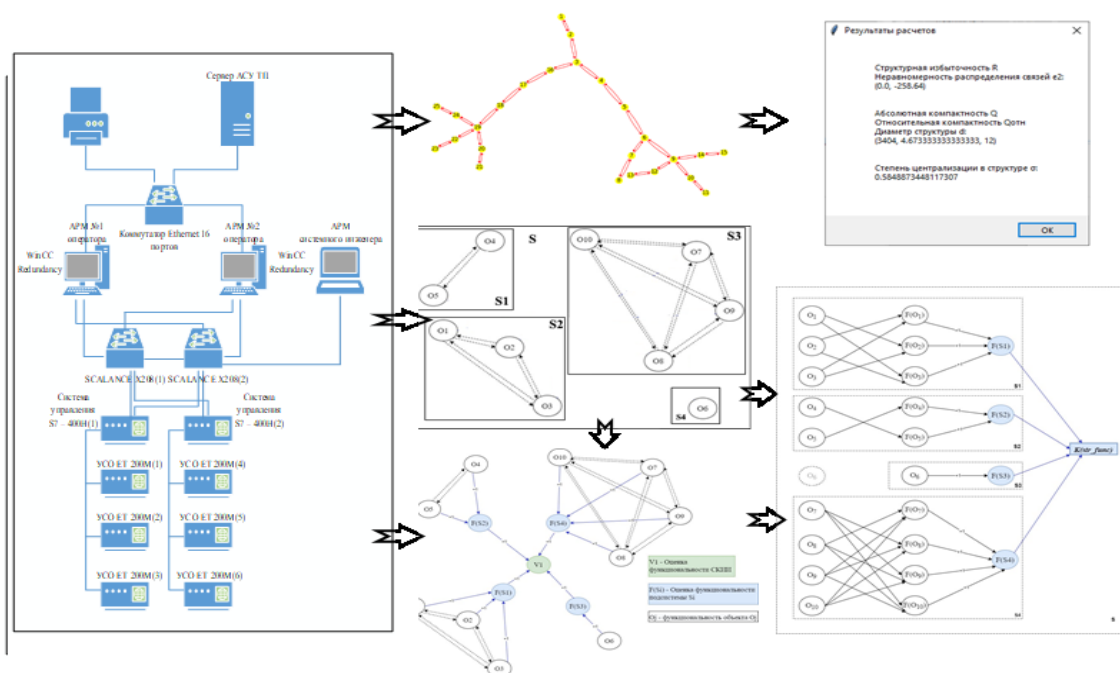
Maksimova Elena A., Russian Technological University MIREA, 78 Vernadsky Ave., Moscow, 119454, Russian Federation, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, ORCID https://orcid.org/0000_0001_8788-4256, e-mail: maksimova@mire.ru

With the introduction of Federal Law No. 187 "On the security of the critical information infrastructure of the Russian Federation", problematic guidelines in the field of information security have changed. The requirements adopted by regulators to ensure the security of critical information infrastructure (CII) objects are adjusted based on the problems and gaps at the regulatory level that arise in the subjects of CII. One of them is the problem of a comprehensive assessment of the information security of a CI subject, taking into account the interaction systems at the infrastructure level, where an important indicator is the infrastructure integrity of the CI subject under destructive influences. This indicator is not a standard topological characteristic from the point of view of the system approach and the theory of system reliability. In the proposed method, it is introduced to determine the meaning of the corresponding concept of the complex cognitive model "Assessment of the information security of the subject of CII". The indicator of the infrastructure integrity of the CII subject is directly determined by the integrity of the subsystems of interacting objects (air defense) of the CII subject. Assessment of the integrity of the air defense of the subject of the CII is an integrative indicator that reflects the degree of compliance of the actual or predicted state of the information infrastructure with the relevant requirements. The proposed method of assessing the infrastructural integrity of the CI subject under destructive influences allows reducing uncertainty in the comprehensive assessment of the IB of the CI subject, and can be used in the system of proactive management of the CI of the Russian Federation.

Keywords: destructive impact, critical information infrastructure, object, subject, infrastructure integrity, subsystem of interacting objects

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России (грант ИБ, проект № 3/2020).

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. Категория «инфраструктурная целостность» тесно связана с понятием «устойчивость субъекта критической информационной инфраструктуры (КИИ)», где субъект КИИ рассматривается как система.

Теория устойчивости систем сегодня одно из активно развивающихся направлений при решении разноотраслевых практических задач [1]. Согласно интерпретации толкового словаря Ушакова, «устойчивый – не поддающийся, не подверженный колебаниям и изменениям». Применительно к техническим системам «устойчивость» трактуется как возможность возврата системы в исходное состояние после воздействия на нее.

Согласно [1] определены три формы проявления устойчивости: инертность [3], восстанавливаемость [4, 5], пластичность [6]. Данные формы проявления устойчивости позволяет говорить о двух ее видах – устойчивость инертная и упругая [1]. Вид устойчивости при этом рассматривается во времени с учетом характеристик системы [7].

Таким образом, инфраструктурную устойчивость определим, как способность инфраструктуры при возмущении системы оставаться на заданном качественном уровне на фоне высокого уровня инфраструктурного деструктивизма. В качестве «возмущений системы» на уровне субъекта КИИ, в том числе будем рассматривать изменение инфраструктуры за счет добавления (удаления) объекта (объектов) КИИ.

Инфраструктурная устойчивость субъекта КИИ проявляется в инертной форме и в контексте когнитивной оценке ИБ субъекта КИИ может рассматриваться как мера концепта «Оценка функциональности субъекта КИИ» [8–10].

Оценка данного показателя в настоящее время рассматривается как самостоятельная величина. Так, например, в работе [11] представлена схема обеспечения устойчивости функционирования КИИ в условиях угроз комплексных информационно-технических и информационно-психологических воздействий, приводящих к компьютерным инцидентам в КИИ. В основе данной схемы представление элементов КИИ в виде объект-субъектной системы, где информационное воздействие на элементы системы влияет на эффективность КИИ в целом.

Вопросы топологической зависимости устойчивости инфраструктуры рассмотрены в [11–12]. Обосновано это тем, что мониторинг и оценка состояния, а также, в конечном счете, задачи более высокого порядка требуют своевременных и точных измерений. Знание текущей топологии системы имеет решающее значение для интерпретации любых таких измерений, а также требуется для оценки состояния для получения правильных результатов. Поскольку как ошибки, так и преднамеренные действия могут изменить топологию, важным шагом в любой оценке состояния является обработка топологии для получения точного вида инфраструктуры для заданного набора измерений. Это, однако, обычно выполняется до оценки состояния. Данный подход позволяет,

к примеру, сформулировать задачу оптимизации для минимизации затрат на построение СЗИ и определения последствий индуцированных сбоев топологии, приводящих к атакам типа «отказ в обслуживании» вплоть до потери наблюдаемости и возможности восстановления исследования.

Устойчивость инфраструктуры зависит от оценки ее целостности, что особенно ярко представлено на уровне субъекта КИИ как системы и требует отдельного исследования.

Важно отметить, что в представленном исследовании межобъектное взаимодействие рассматривается только на уровне одного субъекта КИИ без учета межсубъектных взаимодействий [13].

Характеристики исследования целостности информационной инфраструктуры. Для оценки целостности информационной инфраструктуры будем использовать следующие топологические характеристики [14]:

1. Связность структуры – A^s .

Данная характеристика позволяет выявить наличие обрывов в структуре, висячие вершины и т.п.

Если структура описывается с помощью графовой модели, то связность структуры можно определить через связность элементов графа. В данном случае оценивается матрица связности $C = \|c_{ij}\|$. Элементы данной матрицы определяются на основе суммарной матрицы смежности (A):

$$A^s = \sum_{k=1}^n A^k = A^{k-1} A,$$

где n – число вершин графа.

Элемент матрицы A^k определяет число путей длиной k от вершины a_i к вершине a_j .

Элемент матрицы связности:

$$c_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } a_{ij}^s \geq 1; \\ 0, & \text{если } a_{ij}^s = 0. \end{cases}$$

2. Структурная избыточность – R :

$$R = 0,5 \div (n-1) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} - 1$$

Данный параметр показывает превышение общего числа связей над минимально необходимым:

$$R: \begin{cases} R > 0, & \text{для систем с избыточностью,} \\ R = 0, & \text{для систем без избыточности,} \\ R < 0, & \text{для систем несвязных.} \end{cases}$$

Наибольшее значение R говорит о потенциальной надежности системы.

Если $R = 0$, то вводится параметр ε^2 без учета направленности дуг у ориентированного графа. Данный параметр учитывает неравномерность распределения связей и характеризует недоиспользование возможностей структуры в достижении максимальной связности:

$$\varepsilon^2 = \sum_{i=1}^n g_i^2 - \frac{4m^2}{n},$$

где n – количество вершин; g_i – степень i -й вершины; m – количество ребер у графа.

3. Структурная компактность – $f(Q, Q_{\min}, d)$.

Здесь d_{ij} – минимальная длина пути между элементами i, j .

Структурная компактность определяется через:

- абсолютную компактность:
- относительную компактность:

$$Q_{\text{отн}} = \frac{Q}{Q_{\min}} - 1,$$

где $Q_{\min} = n(n-1)$ – это минимальное значение компактности для структуры системы типа «полный граф»;

- диаметр структуры:

$$d = \max_{ij} d_{ij}.$$

Инерционность процессов системы будет определяться данными параметрами: чем они выше, тем инерционнее процессы, тем больше количество разделяющих элементы связей, тем меньше надежность.

4. Степень централизации в структуре – σ .

Для оценки централизации используют индекс центральности:

$$\sigma = \frac{(n-1)(2Z_{\max} - n)}{Z_{\max}(n-2)},$$

где Z_{\max} – максимальное значение величины:

$$Z_i = \frac{Q}{2\sum_{j=1}^n d_{ij}}, i=1,2,\dots,n; i \neq j.$$

Для структур систем, имеющих максимальную степень централизации $\sigma = 1$ (радиальная), для структур с равномерным распределением связей (полный граф, кольцевая) $\sigma = 0$ [12].

Постановка задачи. Оценка ИБ субъекта КИИ, исходя из специфики объекта защиты, рассматривается с учетом функциональности субъекта КИИ на инфраструктурно-контекстном уровне и без учета инфраструктурного состава субъектов КИИ. То есть не рассматривается оценка инфраструктурной устойчивости субъекта КИИ на уровне инфраструктуры субъекта. Данная оценка является возможностью для определения значений концептов в когнитивной модели «Оценка ИБ субъекта КИИ при деструктивных воздействиях». В данной модели один из концептов – «Оценка функциональности субъекта КИИ на уровне подсистем». Значение данного концепта возможно оценить, при построении самостоятельной когнитивной модели. Результатом работы данной модели должны быть:

- 1) оценка коэффициента инфраструктурной целостности субъекта КИИ (как исходное данное для оценки силы концепта V1 «Оценка функциональности субъекта КИИ») – $K(\text{inf_int})$;
- 2) оценка коэффициента структурной функциональности субъекта КИИ (как исходное данное для оценки силы концепта V1 «Оценка функциональности субъекта КИИ») – $K(\text{str_func})$;
- 3) набор сценариев достижения требуемого уровня функциональности субъекта КИИ в зависимости от вида инфраструктуры.

Оценка коэффициента инфраструктурной целостности субъекта КИИ $K(\text{inf_int})$ предлагается выполнить с учетом топологии подсистемы взаимодействующих объектов КИИ. В данном исследовании под топологией подсистемы взаимодействующих объектов КИИ будем понимать физическое расположение объектов КИИ относительно друг друга и способ соединения их линиями связи. В локальных сетях топологию сети можно легко проследить, так как здесь хорошо просматривается структура связей, что не возможно, к примеру, сделать на уровне пользователей глобальных сетей [15]. Здесь в качестве способов организации КИИ определим виды топологий, рассматриваемые для информационных систем [16].

Дискуссия. Одним из показателей, влияющих на оценку ИБ субъекта КИИ, является целостность субъекта КИИ. Данный показатель напрямую определяется целостностью подсистем взаимодействующих объектов (ПВО) субъекта КИИ. Целостность ПВО субъекта КИИ – свойство подсистемы субъекта КИИ оставаться неизменной во времени на качественном уровне при внесении санкционированных изменений на уровне инфраструктуры (добавление или удаление элемента из информационной инфраструктуры).

Оценка целостности ПВО субъекта КИИ - интегративный показатель, отражающий степень соответствия фактического или прогнозируемого состояния информационной инфраструктуры соответствующим требованиям.

Оценку функции целостности информационной инфраструктуры можно рассматривать как один из показателей оценки её безопасности.

Предложенная оценка, к примеру, позволит своевременно применить достаточный комплекс мер для предотвращения таких угроз ИБ, например, как:

- угроза злоупотребления возможностями, предоставленными потребителям облачных услуг;
- угроза доступа к защищаемым файлам с использованием обходного пути;
- угроза искажения вводимой и выводимой на периферийные устройства информации;
- угроза нарушения доступности облачного сервера и др.

В качестве особенности структурных характеристик системы выделим возможность на системном уровне оценить качество структуры. Для оценки целостности информационной инфраструктуры будем использовать топологические характеристики, обозначенные выше. Кроме того, введем специфичный для субъектов КИИ показатель – коэффициент структурной функциональности субъекта КИИ – $K(\text{str_func})$.

Данный показатель не является стандартной топологической характеристикой с точки зрения системного подхода и теории надежности систем. В данном исследовании он вводится для опре-

деления силы соответствующего концепта. Важно отметить, что исследование данного концепта возможно как на интегративном уровне (в рамках общей модели второго уровня), так и локально. Исследование уже на локальном уровне позволяет снизить используемые при работе ресурсы и выявить наличие в системе деструктов.

Для оценки $K(str_func)$ разработана модель оценки коэффициента инфраструктурной функциональности субъекта КИИ. Алгоритмически она представлена следующим набором шагов:

Шаг 1: анализ представленной инфраструктуры субъекта КИИ.

Шаг 2: выполнение декомпозиции системы субъекта КИИ путем выделения подсистемы взаимодействующих объектов.

Шаг 3: построение модели «Оценка структурной функциональности субъекта КИИ» в виде инфраструктурной схемы взаимодействующих объектов. Для данной модели:

Для данной модели:

1) веса связей O_{ij} определяются экспертным путем исходя из вида взаимосвязи;
2) значение концептов $F(O_i)$ устанавливается исходя из категории значимости соответствующего объекта в шкале $[0, 1]$ по следующему правилу:

$$(SIGN_{CAT[O_i]} \equiv 0 \Rightarrow f[O_i] \equiv 0) \wedge (SIGN_{CAT[O_i]} \equiv 3 \Rightarrow f[O_i] = 0.3) \wedge \\ \wedge (SIGN_{CAT[O_i]} \equiv 2 \Rightarrow f[O_i] = 0.6) \wedge (SIGN_{CAT[O_i]} \equiv 1 \Rightarrow f[O_i] = 1);$$

3) значения весов связей « O_i - $F(S_j)$ » равны +1 для всех i, j :

$$V(O_i_F(S_j)) \equiv +1;$$

4) значения весов связей « $F(S_j)$ - V_1 » равны +1 для всех j :

$$V(F(S_j)_V1) \equiv +1.$$

5) значения весов связей « O_i - O_j » определяются экспертным путем в соответствии с заданной шкалой (табл. 1).

Таблица 1 – Шкала перехода от качественных к количественным значениям при определении значений весов связей « O_i - O_j »

| Значительное отрицательное влияние | Сильное отрицательное влияние | Незначительное отрицательное влияние | Нейтральное влияние | Незначительное положительное влияние | Сильное положительное влияние | Значительное положительное влияние |
|------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| $[-1, -0,7)$ | $[-0,7, -0,4)$ | $[-0,4, -0,1)$ | $[-0,1, 0,1)$ | $[0,1, 0,4)$ | $[0,4, 0,7)$ | $[0,7, 1]$ |

Важно отметить, что значение концепта будет зависеть от категории значимости объектов КИИ (рис. 1).



Рисунок 1 – Шкала соответствия значения концепта и категории значимости объекта КИИ для определения структурной функциональности $K(str_func)$

Экспериментальное исследование. Рассмотрим работу данного модуля на примере оценки инфраструктурной целостности объекта КИИ АСУ ТП дожимной насосной станции (ДНС).

Для экспериментального исследования использована реальная структурная схема, представленная в проекте объекта КИИ [17].

Для проведения эксперимента:

1) разработана специальная структурная схема, отображающая взаимовлияние и взаимодействие подобъектов КИИ,

2) проведен экспертный опрос по определению интервалов значений вероятностей безотказной работы подобъектов КИИ;

3) сформирован план проведения экспериментального исследования оценки инфраструктурной целостности объекта КИИ АСУ ТП ДНС (табл. 2).

Таблица 2 – План экспериментального исследования оценки инфраструктурной целостности объекта КИИ АСУ ТП ДНС

| АРМ | Вероятность безотказной работы | Сервера | Вероятность безотказной работы | АСО | Вероятность безотказной работы | Специфичные | Вероятность безотказной работы |
|-------------------------|--------------------------------|---------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| АРМ № 1 оператора | 0,789 | Сервер АСУ ТП | 0,85 | Коммутатор Ethernet 16 портов | 0,697 | Система управления S7 – 400H (1) | 0,786 |
| АРМ № 2 оператора | 0,79 | | | SCALANCE X208 (1) | 0,75 | Система управления S7 – 400H (2) | 0,786 |
| АРМ системного инженера | 0,567 | | | SCALANCE X208 (2) | 0,75 | УСО ET 200M (1) | 0,896 |
| | | | | | | УСО ET 200M (2) | 0,896 |
| | | | | | | УСО ET 200M (3) | 0,896 |
| | | | | | | УСО ET 200M (4) | 0,896 |
| | | | | | | УСО ET 200M (5) | 0,896 |
| | | | | | | УСО ET 200M (6) | 0,896 |

В ходе исследования с использованием разработанного программного средства разработана схема взаимодействия объекта КИИ АСУ ТП ДНС, выполнены расчеты основных топологических показателей (рис. 3).

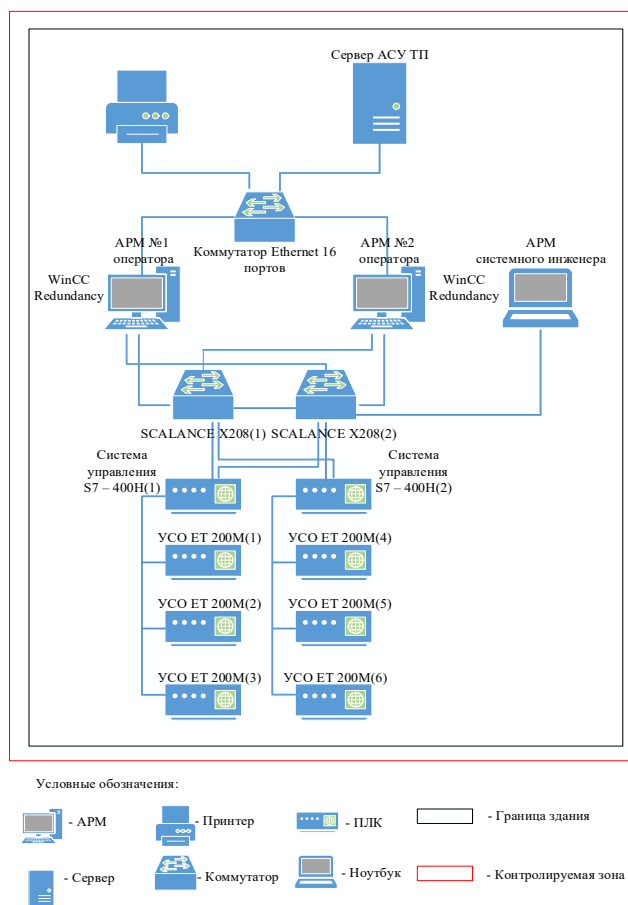


Рисунок 2 – Структурная схема объекта КИИ на примере АСУ ТП ДНС

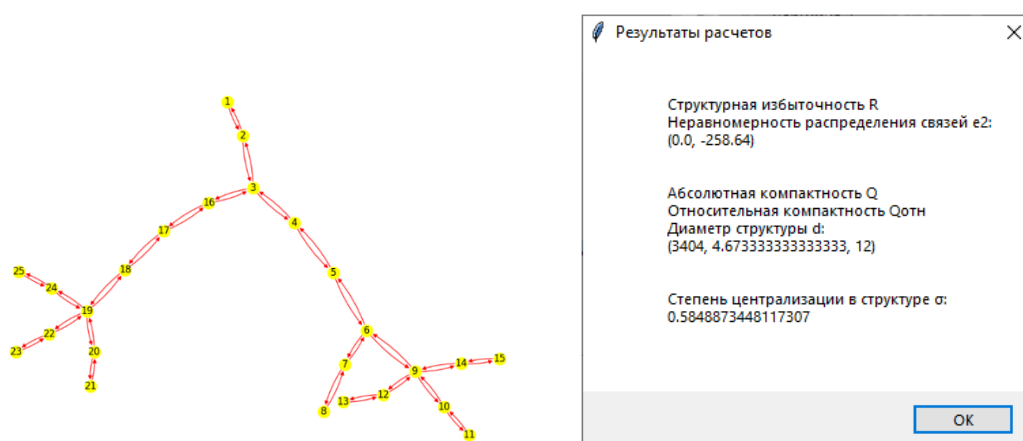


Рисунок 3 – Оценка инфраструктурной целостности субъекта КИИ с одним объектом на примере объекта КИИ АСУ ТП ДНС: слева – схема взаимодействия подобъектов КИИ объекта КИИ АСУ ТП ДНС, справа – оценка показателей целостности объекта КИИ АСУ ТП ДНС

Так как в данном случае выполняется исследование инфраструктурной целостности при рассмотрении в инфраструктуре только одного объекта, то исследование ограничивается только стандартными показателями (табл. 3).

Таблица 3 – Количественные значения показателей инфраструктурной целостности объекта КИИ на примере АСУ ТП ДНС

| Показатель инфраструктурной целостности | Количественное значение |
|--|-------------------------|
| Структурная избыточность, R | 0 |
| Неравномерность распределения связей, ε^2 (для систем с большой избыточностью) | -258 |
| Абсолютная компактность, Q | 3404 |
| Относительная компактность, $Q_{отн}$ | 4,67 |
| Диаметр, d | 12 |
| Индекс центральности, σ | 0,58 |

По результатам анализа матрицы связности констатируем отсутствие в структуре обрывов и висячих вершин. Кроме того, параметр R, отвечающий за структурную избыточность, равен нулю, следовательно, на данном объекте КИИ отсутствует избыточность. Параметр ε^2 является условным, так как зачастую его вводят, чтобы учесть неравномерность распределения связей. При этом дуги у ориентированного графа рассматриваются без учета направленности.

По параметру «структурная компактность» данный объект является абсолютно целостным, так как соответствующие параметры Q, $Q_{отн}$ и d больше нуля.

Количественная оценка степени централизации базируется на понятии индекса центральности σ , который отражает относительное число связей, устанавливаемых через центр. Для структур систем, имеющих максимальную степень централизации $\sigma = 1$ (звезда), для структур с равномерным распределением связей (полный граф, кольцевая) $\sigma = 0$. В данном случае, $\sigma \neq 1$ и $\sigma \neq 0$, что подтверждает то, что исследуемый объект КИИ не относится к типам: звезда, полный граф и кольцо.

На основании вышеизложенного можно говорить об инфраструктурной целостности субъекта КИИ, представленного одним объектом КИИ на примере АСУ ТП ДНС.

В ходе исследования задача была усложнена: субъект КИИ ДНС рассматривался в виде сложной системы, представленной 10 объектами КИИ:

O1 – локальная информационно-вычислительная сеть;

O2 – ИС «1С Бухгалтерия»;

O3 – ИС «1С Зарплата и управление персоналом»;

O4 – Система автоматизированного управления инженерной инфраструктурой (FMCS-система);

O5 – АСУ ТП;

O6 – ИС «Microsoft SharePoint Products and Technologies»;

O7 – «1С: ERP Управление предприятием»;

O8 – ИС «Битрикс»;

O9 – система хранения данных (СХД);

O10 – DELMIA Apriso – система управления производством и производственными операциями (MES/MOM).

Предположим, что при оценке инфраструктурной целостности субъекта КИИ согласно обозначенному выше алгоритму по стандартным показателям получено положительное решение. Однако так как в системе субъекта КИИ более одного объекта КИИ, то необходимо выполнить оценку введенного показателя – коэффициента структурной функциональности субъекта КИИ – $K(str_func)$.

Для оценки $K(str_func)$ в ходе исследования выполнена декомпозиция инфраструктуры. В результате выделены 4 подсистемы взаимодействующих объектов на субъекте КИИ – ДНС (рис. 4).

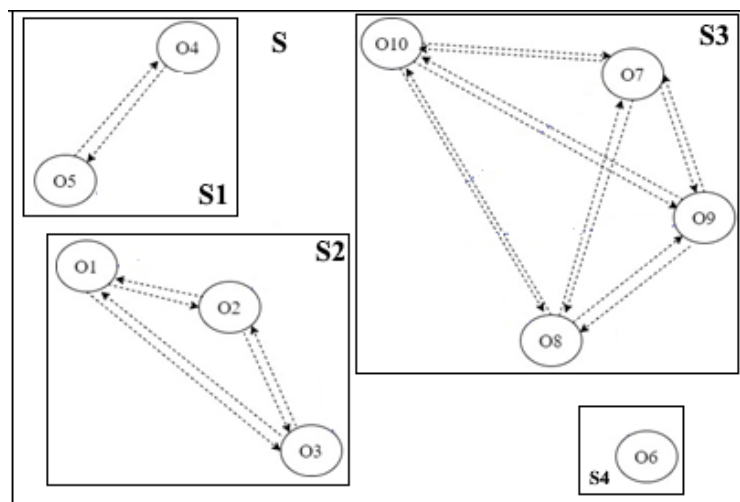


Рисунок 4 – Декомпозиция инфраструктуры субъекта КИИ ДНС на подсистемы взаимодействующих объектов КИИ

По результатам анализа представленной инфраструктуры построена графовая модель «Оценка структурной функциональности субъекта КИИ» (рис. 5).

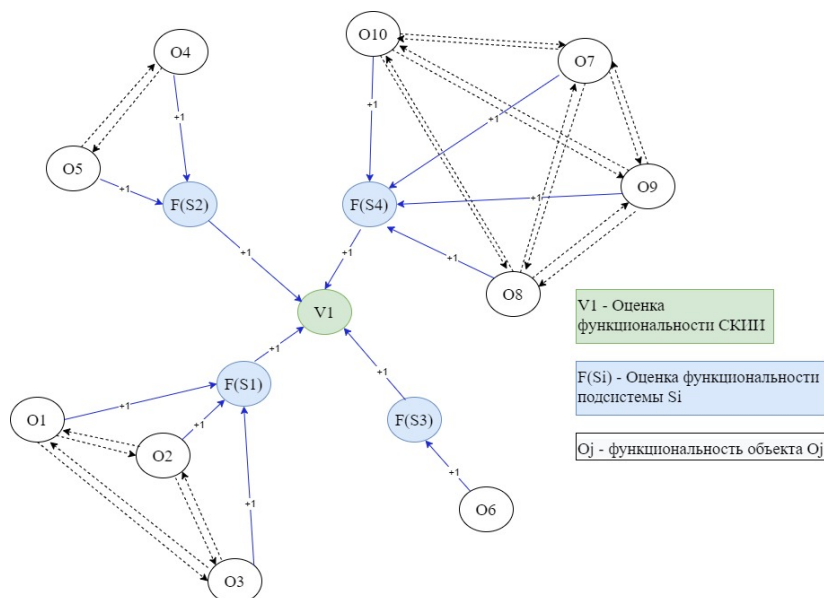


Рисунок 5 – Графовая модель «Оценка структурной функциональности субъекта КИИ ДНС»

В соответствии с [18] графовая модель представлена в виде вероятностного графа (рис. 6).

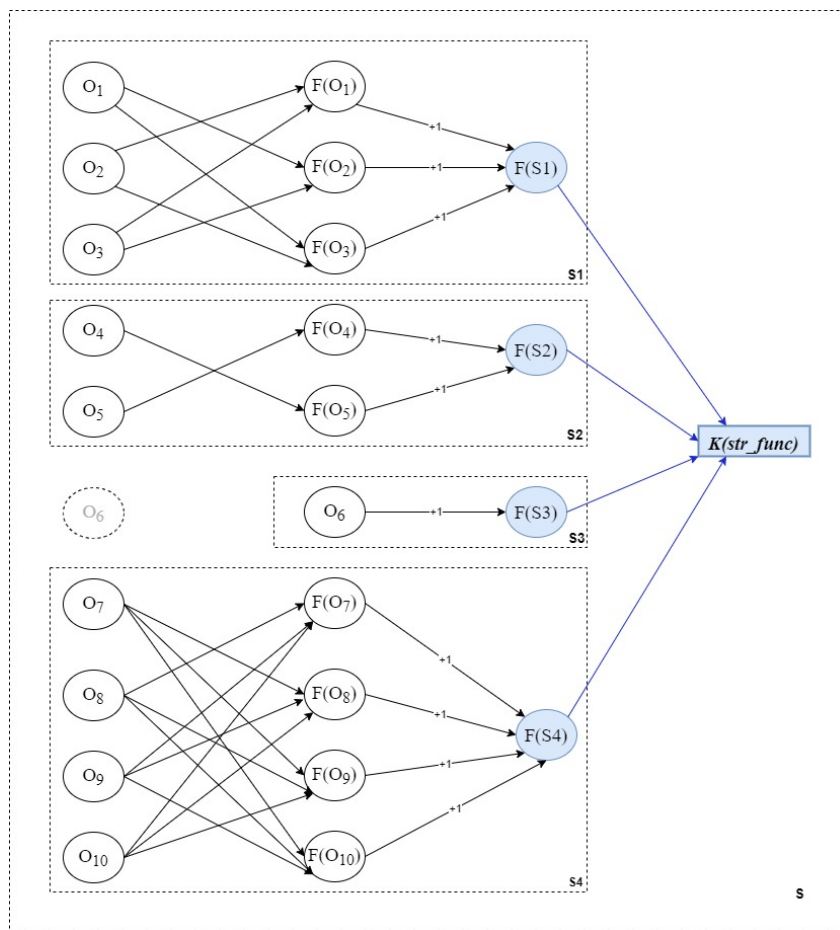


Рисунок 6 – Вероятностная графовая модель «Оценка коэффициента структурной функциональности субъекта КИИ»

Для определения $K(str_func)$ используем шкалу соответствия значения концепта и категории значимости объекта КИИ, представленную выше.

Предположим, в составе субъекта КИИ объекты КИИ со следующими категориями значимости:

$$Cat(O1) \equiv Cat(O2) \equiv Cat(O3) \equiv 3 \Rightarrow F_{zn}(O1) \equiv F_{zn}(O2) \equiv F_{zn}(O3) \equiv 0,35,$$

$$Cat(O4) \equiv Cat(O5) \equiv 2 \Rightarrow F_{zn}(O4) \equiv F_{zn}(O5) \equiv 0,7,$$

$$Cat(O6) \equiv \text{н/з} \Rightarrow F_{zn}(O6) \equiv 0,1,$$

$$Cat(O7) \equiv Cat(O8) \equiv Cat(O9) \equiv Cat(O10) \equiv 3 \Rightarrow$$

$$F_{zn}(O7) \equiv F_{zn}(O8) \equiv F_{zn}(O9) \equiv F_{zn}(O10) \equiv 0,35.$$

Предположим также, что сила связей между всеми взаимодействующими объектами слабоположительная, т.е. $F(O_{ij}) = 0,2$. Расчётные значения при оценке коэффициента структурной функциональности представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Расчётные значения при оценке коэффициента структурной функциональности

| S_j | O_i | $Cat(O_i)$ | $F_{zn}(O_i)$ | $F(O_i)$ | $\max F(O_i)$ | $\min F(O_i)$ | $Cat(S_j)$ | $F_{zn}(S_j)$ | $F(S_j)$ | $\max F_{zn}(S_j)$ | $\min F_{zn}(S_j)$ |
|-------|----------|------------|---------------|----------|---------------|---------------|------------|---------------|----------|--------------------|--------------------|
| S_1 | O_1 | 3 | 0,35 | 0,14 | 0,7 | -0,7 | 3 | 0,35 | 0,42 | 0,882 | -0,882 |
| | O_2 | 3 | 0,35 | 0,14 | 0,7 | -0,7 | | | | | |
| | O_3 | 3 | 0,35 | 0,14 | 0,7 | -0,7 | | | | | |
| S_2 | O_4 | 2 | 0,7 | 0,14 | 0,7 | -0,7 | 2 | 0,7 | 0,28 | 0,98 | -0,98 |
| | O_5 | 2 | 0,7 | 0,14 | 0,7 | -0,7 | | | | | |
| S_3 | O_6 | н/з | 0,1 | 0,1 | 0,1 | -0,1 | н/з | 0,1 | 0,1 | 0,1 | -0,1 |
| S_4 | O_7 | 3 | 0,35 | 0,21 | 1,05 | -1,05 | 3 | 0,35 | 0,84 | 1,47 | -1,47 |
| | O_8 | 3 | 0,35 | 0,21 | 1,05 | -1,05 | | | | | |
| | O_9 | 3 | 0,35 | 0,21 | 1,05 | -1,05 | | | | | |
| | O_{10} | 3 | 0,35 | 0,21 | 1,05 | -1,05 | | | | | |

Итоговое, рассчитанное значение $K(str_func) = 1,64$.

Результаты эксперимента. Рассчитанное значение $K(str_func)$ определяет значение концепта «Оценка инфраструктурной целостности субъекта КИИ» в общей когнитивной модели «Оценка ИБ субъекта КИИ».

При решении вопроса приведения оценочных значений концептов к единой шкале можно воспользоваться количественной шкалой для исследуемого концепта, граничные значения которого принадлежат промежутку $[Min_K(str_func), Max_K(str_func)]$. Если определить зависимость максимального и минимального значений данного коэффициента от видов межобъектного взаимодействия, то для данного субъекта КИИ: $Max_K(str_func) = 3,37$; $Min_K(str_func) = -3,37$.

То есть по результатам исследования инфраструктурной целостности рассматриваемого субъекта КИИ можно говорить о целостности инфраструктуры и оказании положительного среднего влияния на инфраструктурную функциональность субъекта КИИ.

Заключение.

1. Структурные характеристики системы позволяют уже на ранней стадии создания системы оценить качество ее структуры и элементов с позиции общего системного подхода.

2. Оценку коэффициента инфраструктурной целостности субъекта КИИ $K(inf_int)$ предложено выполнить с учетом топологии подсистемы взаимодействующих объектов КИИ.

3. $K(inf_int)$ не является стандартной топологической характеристикой с точки зрения системного подхода и теории надежности систем. В предложенном методе он вводится для определения значения соответствующего концепта комплексной когнитивной модели «оценка информационной безопасности субъекта КИИ».

4. $K(inf_int)$ напрямую определяется целостностью ПВО субъекта КИИ. Целостность ПВО субъекта КИИ – свойство подсистемы субъекта КИИ оставаться неизменной во времени на качественном уровне при внесении санкционированных изменений на уровне инфраструктуры (добавление или удаление элемента из информационной инфраструктуры).

5. Оценка целостности ПВО субъекта КИИ – интегративный показатель, отражающий степень соответствия фактического или прогнозируемого состояния информационной инфраструктуры соответствующим требованиям.

6. Предложенный метод оценки инфраструктурной целостности субъекта КИИ при деструктивных воздействиях позволяет снизить неопределенность в комплексной оценке ИБ субъекта КИИ, и может быть использован в системе проактивного управления КИИ РФ.

Библиографический список

1. Косолапов, О. В. Устойчивость как одна из основных характеристик системы / О. В. Косолапов, М. Н. Игнатъева // Известия Уральского государственного горного университета. – 2013. – № 4. – С. 77–81. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/journal/issue/290438>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
2. «Устойчивый ...». – Режим доступа: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ushakov/1071254>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 09.08.2021).
3. Политехнический словарь / под ред. И. И. Артоболевского. – Москва, 1976. – С. 183.
4. Бараненко, С. П. Стратегическая устойчивость предприятия / С. П. Бараненко, В. В. Шеметов. – Москва : Центрополиграф, 2004. – С. 89.
5. Ожегов, С. И. Словарь русского языка / С. И. Ожегов. – Москва, 1953. – С. 82.
6. Политехнический словарь / под ред. И. И. Артоболевского. – Москва, 1976. – С. 363.
7. Казаков, Л. К. Ландшафтоведение /Л. К. Казаков. – Москва : Изд. центр «Академия», 2011. – 336 с.
8. Ажмухамедов, И. М. Управление слабоформализуемыми социотехническими системами на основе нечеткого когнитивного моделирования (на примере систем комплексного обеспечения информационной безопасности) : специальность 05.13.19 «Методы и системы защиты информации, информационная безопасность» : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Искандар Маратович Ажмухамедов. – Астрахань, 2014. – 31 с.
9. Максимова, Е. А. Когнитивное моделирование деструктивных злоумышленных воздействий на объектах критической информационной инфраструктуры / Е. А. Максимова // Труды учебных заведений связи. – 2020. – Т. 6, № 4. – С. 91–103. – DOI: 10.31854/1813-324X-2020-6-4-91-103.
10. Максимова, Е. А. Оценка информационной безопасности субъекта критической информационной инфраструктуры при деструктивных воздействиях : монография / Е. А. Максимова. – Волгоград : Изд-во ВолГУ, 2020. – 95 с.
11. Климов, С. М. Методика обеспечения устойчивости функционирования критической информационной инфраструктуры в условиях информационных воздействий / С. М. Климов, С. В. Поликарпов, Б. С. Рыжов, Р. И. Тихонов, И. В. Шпырня // Вопросы кибербезопасности. – 2019. – № 6 (34). – С. 37–48.
12. Гаджиев, Б. Р. Топология и устойчивость локально-мировых сетей / Б. Р. Гаджиев, Е. Ю. Гибина, Т. Б. Прогулова, Д. П. Щетинина // Программные продукты и системы. – 2009. – № 4. – С. 51–54. – Режим доступа: <https://topologiya-i-ustoychivost-lokalno-mirovyh-setey.pdf>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 09.08.2021).
13. Максимова, Е. А. Межсубъектное взаимодействие как источник деструктивных воздействий на субъекте критической информационной инфраструктуры / Е. А. Максимова, Н. П. Садовникова

// Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2021. – № 2 (54). – С. 71–80. – DOI: 10.21672/2074-1707.2021.53.1.071-0800.

14. Структурно-топологические характеристики систем – Программирование на C, C# и Java (vscode.ru). – Режим доступа: <https://vscode.ru/articles/struct-topolog-charact-system.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 26.04.2021).

15. Новиков, Ю. В. Основы локальных сетей : курс лекций / Ю. В. Новиков, С. В. Кондратенко. – Москва : Интуит НОУ, 2016. – 406 с. – Режим доступа: <https://book.ru/book/917847>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 09.08.2021).

16. Компьютерные технологии. – Режим доступа: <https://www.sites.google.com/site/informtexxim/home/5>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 09.08.2021).

17. Техническое задание обследование информационных систем и АСУ ТП объектов общества ООО «РН-Краснодарнефтегаз». – Режим доступа: file:///C:/Users/Пользователь/Downloads/ТЗ_на_обследование_АСУ_ТП_2020, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 19.07.2021).

18. Луис, Энрике Сукар. Вероятностные графовые модели. Принципы и приложения / Луис Энрике Сукар; пер. с англ. А. Снастин. – Москва : ДМК Пресс, 2020. – 338 с.

References

1. Kosolapov, O. V., Ignayeva M. N. Ustoychivost kak odna iz osnovnykh kharakteristik sistemy [Stability as one of the main characteristics of the system]. *Izvestiya Uralskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [Bulletin of the Ural State Mining University], 2013, no. 4, pp. 77–81. Available at: <https://e.lanbook.com/journal/issue/290438>.

2. «Ustoychivyy – ...» [“Sustainable – ...”]. Available at: [https:// dic.academic.ru/dic.nsf/ushakov/1071254](https://dic.academic.ru/dic.nsf/ushakov/1071254) (accessed 09.08.2021).

3. Artobolevskiy, I. I. (ed.) *Politekhnikheskiy slovar* [Polytechnic Dictionary]. Moscow, 1976, p. 183.

4. Baranenko, S. P., Shemetov, V. V. *Strategicheskaya ustoychivost predpriyatiya* [Strategic stability of the enterprise]. Moscow, Tsentropoligraf Publ., 2004, p. 89.

5. Ozhegov, S. I. *Slovar russkogo yazyka* [Dictionary of the Russian language]. Moscow, 1953, p. 82.

6. Artobolevskiy, I. I. (ed.) *Politekhnikheskiy slovar* [Polytechnic Dictionary]. Moscow, 1976, p. 363.

7. Kazakov, L. K. *Landshaftovedeniye* [Landscape science]. Moscow, Publishing Center “Akademiya”, 2011. 336 p.

8. Azhmukhamedov, I. M. *Upravleniye slaboformalizuyemyimi sotsiotekhnicheskimi sistemami na osnove nechetkogo kognitivnogo modelirovaniya (na primere sistem kompleksnogo obespecheniya informatsionnoy bezopasnosti) : spetsialnost 05.13.19 “Metody i sistemy zashchity informatsii, informatsionnaya bezopasnost” : avtoreferat dissertatsii na soiskaniye uchenoy stepeni doktora tekhnicheskikh nauk* [Management of poorly formalized socio-technical systems based on fuzzy cognitive modeling (on the example of integrated information security systems)] [Methods and systems of information security, information security : specialty 05.13.19 “Methods and systems of information protection, information security” : abstract of the thesis for the degree of Doctor of Technical Sciences]. Astrakhan, 2014. 31 p.

9. Maksimova, Ye. A. Kognitivnoye modelirovaniye destruktivnykh zloumyshlennykh vozdeystviy na obyektakh kriticheskoy informatsionnoy infrastruktury [Cognitive modeling of destructive malicious influences on objects of critical information infrastructure]. *Trudy uchebnykh zavedeniy svyazi* [Proceedings of educational institutions of communication], 2020, vol. 6, no. 4, p. 91–103. DOI: 10.31854/1813-324X-2020-6-4-91-103.

10. Maksimova, Ye. A. *Otsenka informatsionnoy bezopasnosti subyekta kriticheskoy informatsionnoy infrastruktury pri destruktivnykh vozdeystviyakh : monografiya* [Assessment of information security of the subject of critical information infrastructure under destructive influences : monograph]. Volgograd, Volgograd State University Publ., 2020. 95 p.

11. Klimov, S. M., Polikarpov, S. V., Ryzhov, B. S., Tikhonov, R. I., Shpyrmya, I. V. Metodika obespecheniya ustoychivosti funkcionirovaniya kriticheskoy informatsionnoy infrastruktury v usloviyakh informatsionnykh vozdeystviy [Methods of ensuring the stability of the functioning of the critical information infrastructure in conditions of information influences]. *Voprosy kiberbezopasnosti* [Issues of Cyber Security], 2019, no. 6 (34), pp. 37–48.

12. Gadzhiev, B. R., Gibina Ye. Yu., Progulova, T. B., Shchetinina, D. P. Topologiya i ustoychivost lokalno-mirovykh setey [Topology and stability of local-world networks]. *Programmnyye produkty i sistemy* [Software Products and Systems], 2009, no. 4, pp. 51–54. Available at: [https:// topologiya-i-ustoychivost-lokalno-mirovykh-setey.pdf](https://topologiya-i-ustoychivost-lokalno-mirovykh-setey.pdf) (accessed 09.08.2021).

13. Maksimova, Ye. A., Sadovnikova N. P. Mezhsobyektnoye vzaimodeystviye kak istochnik destruktivnykh vozdeystviy na subyekte kriticheskoy informatsionnoy infrastruktury [Intersubjective interaction as a source of destructive influences on the subject of critical information infrastructure]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravleniye i vysokiytehnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2021, no. 2 (54), pp. 71–80. DOI 10.21672/2074-1707.2021.53.1.071-0800.

14. *Strukturno-topologicheskkiye kharakteristiki sistem – Programmirovaniye na C, C# i Java (vscode.ru)* [Structural and topological characteristics of systems – Programming in C, C # and Java (vscode.ru)]. Available at: <https://vscode.ru/articles/struct-topolog-charact-system.html> (accessed 26.04.2021).

15. Novikov, Yu. V., Kondratenko, S. V. *Osnovy lokalnykh setey : kurs lektsiy* [Basics of local networks: a course of lectures]. Moscow, Intuit NOU, 2016. 406 p. Available at: <https://book.ru/book/917847> (accessed 09.08.2021).

16. *Kompyuternyye tekhnologii* [Computer technologies]. Available at: <https://www.sites.google.com/site/informtexxim/home/5> (accessed 09.08.2021).

17. *Tekhnicheskoye zadaniye obsledovaniye informatsionnykh sistem i ASU TP obyektov obshchestva OOO «RN-Krasnodarneftegaz»* [Terms of reference survey of information systems and APCS facilities of the company LLC "RN-Krasnodarneftegaz"]. Available at: file:///C:/Users/Pol'zovatel/Downloads/TZ_na_obsledovaniye_ASU_TP_2020 (accessed 19.07.2021).

18. Luis, Enrike Sukar. *Veroyatnostnyye grafovyie modeli. Printsipy i prilozheniya* [Probabilistic graph models. Principles and applications] ; transl. by A. Snastin. Moscow, DMK Press Publ., 2020. 338 p.

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

УДК 535.233.42+623.465.757

МЕТОДИКА ВЫБОРА ПОРОГА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ РЕГИСТРАТОРА ЛАЗЕРНОГО ПЯТНА ПОДСВЕТА ОТ АВИАЦИОННЫХ ПРИЦЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ЛЕТНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Статья поступила в редакцию 08.07.2021, в окончательном варианте – 05.10.2021.

Маслиев Алексей Анатольевич, ИМК ФГУП «ГосНИИАС», 416500, Российская Федерация, г. Ахтубинск-7,

Московский авиационный институт, 125993, Российская Федерация, г. Москва, Волоколамское шоссе, 4.

аспирант, старший преподаватель, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7231-2263>, e-mail: panoramasix@gmail.com

Горин Алексей Владимирович, ИМК ФГУП «ГосНИИАС», 416500, Российская Федерация, г. Ахтубинск-7,

начальник отдела, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8650-7133>, e-mail: allgor_79@mail.ru

Хисматов Игорь Федорович, АО «Концерн воздушно-космической обороны «Алмаз-Антей» 121471, Российская Федерация, г. Москва, ул. Верейская, 41,

доктор технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6866-4650>, e-mail: abu-sergey@yandex.ru

В статье предлагается методика расчетной настройки чувствительности регистратора лазерного пятна при планировании и в процессе проведения наземных и летных экспериментов. Методика основана на расчете потока излучения [1, 2], падающего на детекторы системы регистрации, с учетом дальности и углов визирования мишени, характеристик излучателя и погодных условий. Предлагается настраивать порог чувствительности регистратора лазерного пятна двумя способами: а) статическим, перед проведением летного эксперимента: установка чувствительности детекторов выполняется, исходя из заданного диапазона дальности подсвета, в котором необходимо обеспечить требуемую точность регистрации положения пятна; б) динамическим, в процессе выполнения летного эксперимента: автоматическая подстройка чувствительности с учетом изменений пространственного положения подсветчика воздушного базирования относительно мишени в ходе полета. Каждый из способов позволяет уменьшить временные и материальные затраты подготовку экспериментов, а также повысить достоверность оценок положения энергетического центра пятна на мишени.

Ключевые слова: испытания, моделирование, лазерный подсвет, фотоприемник, чувствительность, лазерное пятно, лазерная головка самонаведения, матрица фотоприемников, смотрящая система, освещенность, поток излучения, статический способ, динамический способ

METHODOLOGY FOR SELECTING THE SENSITIVITY THRESHOLD OF THE LASER SPOT ILLUMINATION RECORDER FROM AVIATION SIGHTING SYSTEMS WHEN PLANNING FLIGHT EXPERIMENTS

The article was received by the editorial board on 08.07.2020, in the final version – 05.10.2020.

Masliev Aleksey A., IMK FGUP «GosNIIAS», Akhtubinsk-7, 416500, Russian Federation, Moscow Aviation Institute, 4 Volokolamskoe shosse, Moscow, 125993, Russian Federation, postgraduate student, Senior Lecturer, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7231-2263>, e-mail: panoramasix@gmail.com

Gorin Aleksey V., IMK FGUP «GosNIIAS», Akhtubinsk-7, 416500, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8650-7133>, e-mail: allgor_79@mail.ru

Khismatov Igor F., Almaz-Antey Aerospace Defense Concern JSC, 41 Vereyskaya St., Moscow, 121471, Russian Federation,

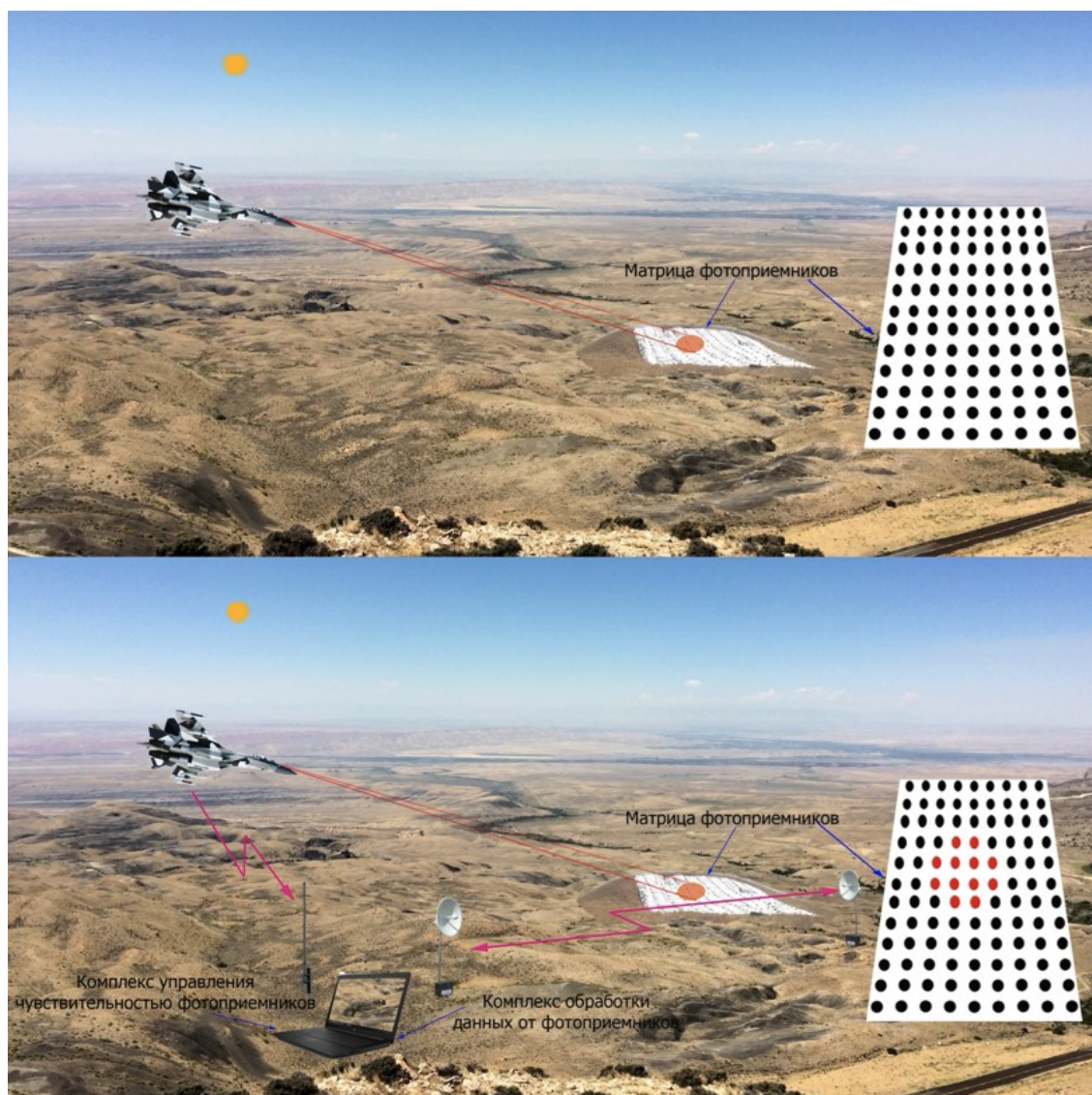
Doct. Sci., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6866-4650>, e-mail: abu-sergey@yandex.ru

The article proposes a method for calculating the sensitivity adjustment of the laser spot recorder during planning and during conducting ground and flight experiments. The method is based on the calculation of the radiation flux [1, 2] incident on the detectors of the registration system, taking into account the range and angles of sight of the target, the

characteristics of the emitter and weather conditions. It is proposed to adjust the sensitivity threshold of the laser spot recorder in two ways: a) static, before conducting a flight experiment: the sensitivity of the detectors is set based on a given range of illumination range, in which it is necessary to ensure the required accuracy of registering the spot position; b) dynamic, during the flight experiment: automatic adjustment of sensitivity taking into account changes in the spatial position of the air-based illuminator relative to the target during the flight. Each of the methods allows to reduce the time and material costs of preparing experiments, as well as to increase the reliability of estimates of the position of the energy center of the spot on the target.

Keywords: tests, modeling, laser illumination, photodetector, sensitivity, laser spot, laser homing head, photodetector matrix, viewing system, illumination, radiation flux, static method, dynamic method

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. При проведении летных экспериментов по проверке возможности применения авиационных средств поражения (АСП) с лазерными головками самонаведения (ГСН) часто возникает необходимость в подтверждении нахождения лазерного пятна *в заданных пределах на мишени*, а также в оценке *положения его энергетического центра*. Для этого могут применяться различные типы регистраторов: от матриц фотодиодных детекторов до тепловизионных систем с матричными фотоприемными устройствами [1]. Однако общим вопросом их применения является выбор порога срабатывания при облучении динамично изменяющимся потоком излучения системы подсвета летательного аппарата (ЛА).

Противоречия, возникающие при решении задач регистрации лазерного пятна авиационных подсветчиков, заключаются в следующем. С одной стороны, лазерный подсвет, выполняемый аппаратурой воздушного базирования, начинается на значительном удалении от объекта. При этом

система регистрации должна принимать излучение с площади значительных размеров, что вызвано расходимостью лазерного луча. По этой же причине порог чувствительности фотоприемников должен быть минимальным. С другой стороны, на конечном участке наведения средства поражения подсвет мишени осуществляется с минимальных дальностей, что уменьшает размеры пятна и увеличивает создаваемую им освещенность на детекторах регистрирующей системы. Соответственно, на минимальных дальностях порог их чувствительности должен быть существенно выше, что обусловлено возможностью регистрации отраженных «ложных засветок».

В случае несоответствия выставленного порога чувствительности уровню поступающего на фотоприемники потока излучения возможны явления, снижающие достоверность оценок положения границ или энергетического центра лазерного пятна. Определим понятие границы лазерного пятна следующим образом. Она ограничивает область проекции расходящегося пучка излучения подсветчика на мишень, в пределах которой отношение математического ожидания полезного сигнала $M[I_{\text{подсв}}]$, формируемого подсветом, к математическому ожиданию фонового сигнала $M[I_{\text{фон}}]$, формируемого фоновым излучением, превышает заданное пороговое значение $Kp_{\text{пор}}$:

$$Kp \geq Kp_{\text{пор}},$$

$$Kp = \frac{M[I_{\text{подсв}}]}{M[I_{\text{фон}}]},$$

где $I_{\text{подсв}}$ – ток, формируемый на фотоприемнике при воздействии излучения от подсветчика;

$I_{\text{фон}}$ – ток, формируемый на фотоприемнике при воздействии фонового излучения.

Вопрос определения требуемого порога на мишени между фоновым излучением и излучением подсвета должен решаться в зависимости от целей конкретного исследования: либо это оценка точности подсвета воздушным подсветчиком, либо оценка дальности захвата лазерной ГСН. Например, при подсвете перпендикулярно мишени, температуре окружающего воздуха $15,3^\circ\text{C}$, времени суток 11 часов, метеорологической дальности видимости 10 км и на дальности подсвета 100 км значение отношения «сигнал/шум» может составлять $Kp = 1/3$, а на дальности подсвета 10 км – $Kp = 670$.

При низком уровне порога чувствительности фотоприемников первым фактором, снижающим достоверность оценок положения пятна, является «засветка» фотоприемников его крайними областями в случаях, когда его геометрический центр расположен вне поля датчиков системы регистрации (рис. 1). В этом случае ошибка в определении положения границ пятна будет тем больше, чем больше дальность.



Рисунок 1 – «Засветка» фотоприемников периферийными областями лазерного пятна

Второй фактор снижения достоверности регистрируемой информации при низком уровне порога чувствительности фотоприемников может проявляться на минимальных дальностях подсвета. Он заключается в переотражениях лазерного излучения от мишени в фотоприемники, находящихся за пределами лазерного пятна (рис. 2). Величина отраженного потока излучения в этих точках может превысить установленное пороговое значение чувствительности фотоприемников, что приведет к «ложным засветкам».

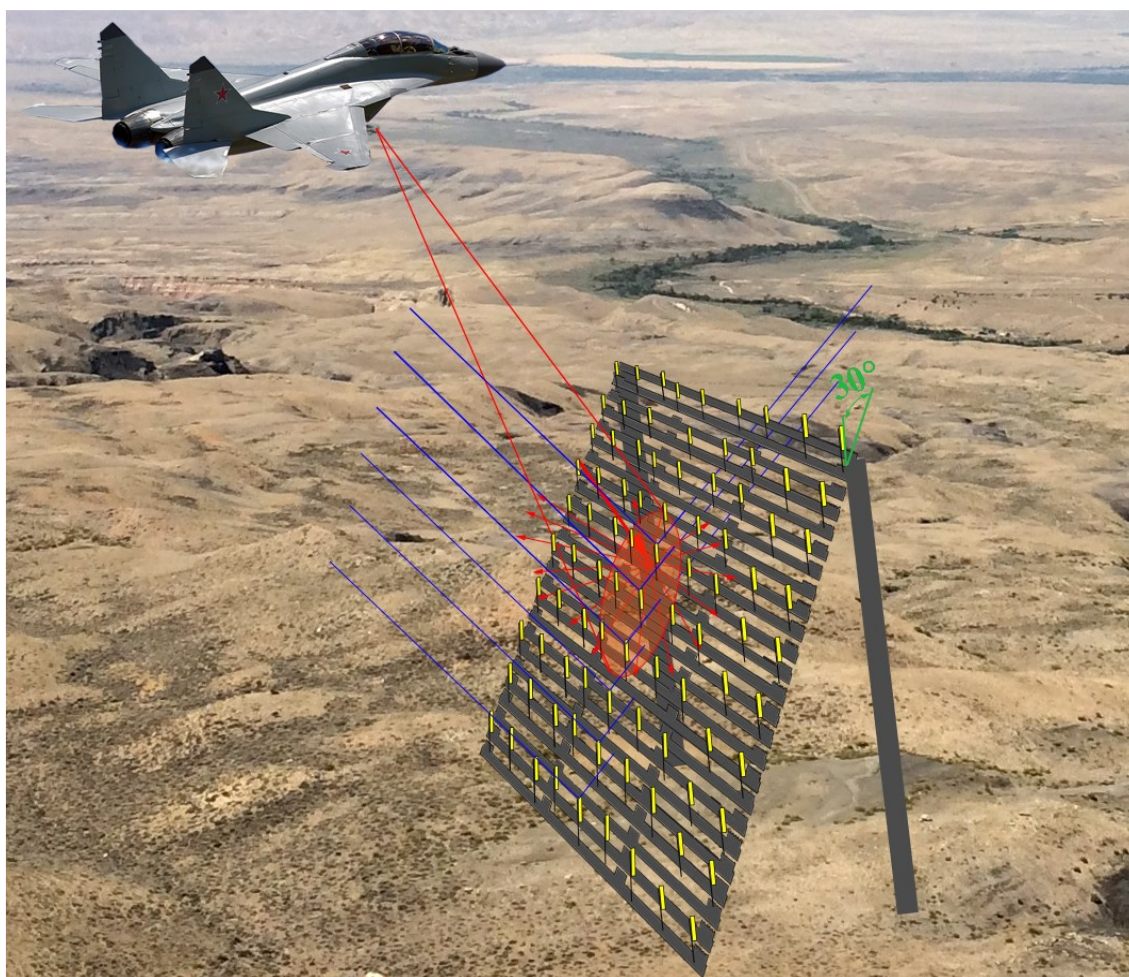


Рисунок 2 – Переотражение лазерного излучения от мишени в фотоприемники, находящиеся за пределами лазерного пятна

При высоком уровне порога чувствительности фотоприемников на максимальных дальностях подсвета будет наблюдаться отсутствие регистрации фотоприемниками лазерного пятна, что является третьим фактором снижения достоверности оценок его положения.

Способом борьбы с «ложными засветками» фотоприемников является, с одной стороны, такая их геометрическая расстановка с выбором угла установки, при которой *минимизируется* поток нежелательного отраженного *излучения* на фотоприемниках. С другой стороны, выбор такого порогового уровня чувствительности фотоприемников, который обеспечивает наилучшую точность определения границ лазерного пятна в условиях динамичного подсвета и воздействия поля отраженного излучения на детекторы.

Схемы применения системы регистрации лазерного пятна. Рассмотрим схемы применения следующих систем регистрации лазерного пятна:

системы, основанной на использовании распределенных на некоторой поверхности фотоприемников – «матрицы фотоприемников», регистрирующей прямое излучение подсвета; «смотрящей системы», проецирующей отраженное от мишени излучение подсвета в пространстве изображений на детекторную площадку, образованную с распределенными по ней фотоприемниками.

Матрица фотоприемников располагается на поверхности мишени (рис. 3), в то время как смотрящая система регистрации располагается на некотором удалении от мишени так, чтобы в ее угловом поле в пространстве предметов располагалась анализируемая поверхность (рис. 4).

В статье рассматриваются случаи, при которых в поле зрения каждого из элементов «матрицы фотоприемников» не попадает площадь мишени и, соответственно, исключено попадание на фотоприемники отраженного от мишени лазерного излучения.

В зависимости от схемы применения порог чувствительности устанавливается двумя способами:

электрическим, путем настройки порога усилителя – для «матрицы фотоприемников», а также для «смотрящей системы»;

оптическим, при помощи регулируемой диафрагмы – для «смотрящей системы».

Расчет требуемого порога чувствительности системы регистрации базируется на применении математической модели потока излучения на её детекторах.

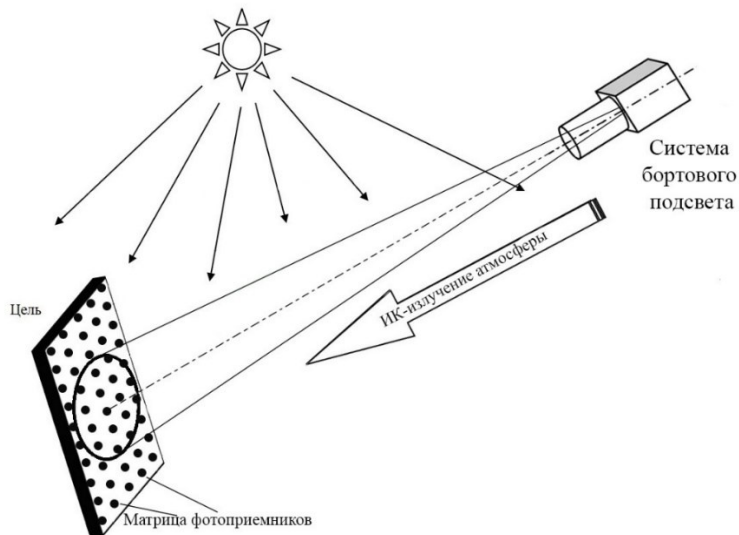


Рисунок 3 – Схема эксперимента с применением матрицы фотоприемников непосредственно на мишени

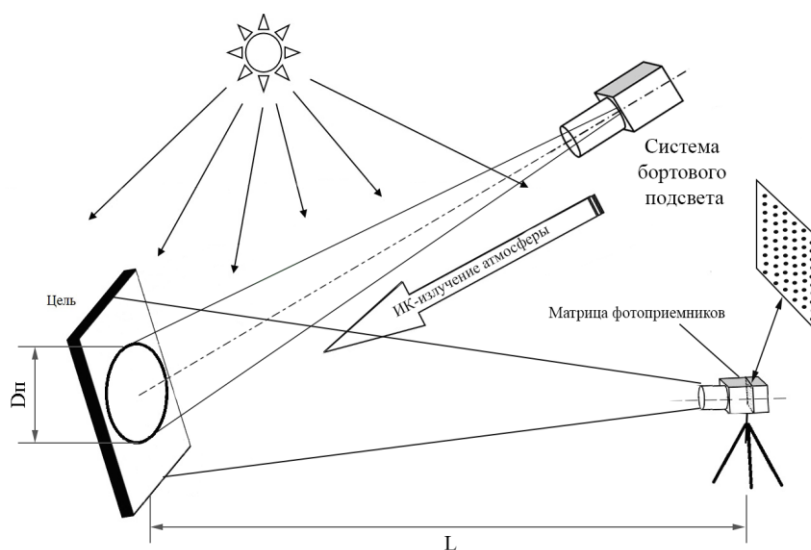


Рисунок 4 – Схема эксперимента с применением матрицы фотоприемников внутри оптической системы, направленной на мишень

Математическое моделирование потоков излучения на входном зрачке фотоприемника.

В случае расположения матрицы системы регистрации лазерного пятна непосредственно на мишени формирование освещенности входного зрачка любого её фотоприемника $E_{1ФПпр}$ может быть описано следующей суммой [2, 3]:

$$E_{1ФПпр} = E_{АнаоФП} + E_{SнаоФП} + E_n, \quad (1)$$

где $E_{АнаоФП}$ – освещенность, создаваемая рассеянным и собственным ИК-излучением участка атмосферы между источником и приемником излучения;

$E_{SнаоФП}$ – освещенность, создаваемая прямым излучением солнца;

E_n – освещенность, создаваемая прямым излучением лазерной системы подсвета;

$E_{\text{АнаоФП}}$ и $E_{\text{СнаоФП}}$ могут быть вычислены для выбранных условий полета известными методами, например, с помощью расчетной программы АО «НПО «ГИПО» [4, 5].

Освещенность фотоприемников, создаваемая системой подсвета, определяется следующим образом [6]:

$$E_n = \frac{0,8 \cdot W_{\lambda} \cdot \tau_{a1} \cos \theta_1}{\tau_{\text{имп}} \cdot S_n} \quad (2)$$

где W_{λ} – энергия излучателя, Дж;

τ_{a1} – коэффициент пропускания атмосферы на трассе подсвета мишени;

$\tau_{\text{имп}}$ – длительность импульса подсвета, с;

S_n – площадь пятна в плоскости матрицы фотоприемников, м²;

θ_1 – зенитный угол подсвета, рад.

Поток излучения, создаваемый на входном зрачке фотоприемника, рассчитывается по формуле:

$$\Phi_{\text{наоФП}} = E_{\text{ФПпр}} \cdot S_{\text{ФП}}, \quad (3)$$

где $S_{\text{ФП}}$ – площадь фоточувствительного элемента фотоприемника.

В случае применения системы регистрации смотрящего типа, располагаемой на расстоянии от мишени, сначала необходимо рассмотреть формирование освещенности на её входном зрачке:

$$E_{\text{зрОБЩ}} = E_{\text{АнаоЗР}} + E_{\text{АомрЗР}} + E_{\text{СнаоЗР}} + E_{\text{СомрЗР}} + E_n + M_{\text{источ.ε}}, \quad (4)$$

где $E_{\text{АнаоЗР}}$ – освещенность, создаваемая отраженным от мишени излучением атмосферы;

$E_{\text{СомрЗР}}$ – освещенность, создаваемая отраженным от мишени излучением солнца;

E_n – освещенность, создаваемая отраженным от мишени излучением лазерной системы подсвета;

$M_{\text{источ.ε}}$ – светимость мишени, обусловленная собственным ИК излучением в диапазоне длин волн $\lambda_1 \dots \lambda_2$.

Освещенность на входном зрачке смотрящей системы, создаваемая отраженным и падающим излучением атмосферы, Солнца и собственным излучением мишени, будем считать фоновой освещенностью $E_{\text{фон}}$:

$$E_{\text{фон}} = E_{\text{АнаоЗР}} + E_{\text{АомрЗР}} + E_{\text{СнаоЗР}} + E_{\text{СомрЗР}} + M_{\text{источ.ε}}. \quad (5)$$

Тогда формула (4) может быть записана в виде:

$$E_{\text{зрОБЩ}} = E_n + E_{\text{фон}}. \quad (6)$$

Светимость мишени, обусловленная собственным ИК излучением, определяется законом Планка:

$$M_{\text{источ.ε}}(T, \varepsilon, \lambda_1, \lambda_2) = 2 \cdot \varepsilon \cdot c^2 \cdot \pi \cdot h \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda \cdot k \cdot T}} - 1} d\lambda, \quad (7)$$

где h – постоянная Планка;

k – постоянная Стефана – Больцмана;

c – скорость света;

$\lambda_1 \dots \lambda_2$ – диапазон длин волн излучения (выбирается исходя из чувствительности приемника оптической системы);

T – температура поверхности мишени;

ε – коэффициент «серости» мишени:

$$\varepsilon = 1 - \rho, \quad (8)$$

где ρ – направленный полусферический коэффициент отражения поверхности мишени.

Яркость $L_{\text{зр}}$ отраженного от мишени излучения подсвета на входе объектива оптической системы регистратора смотрящего типа, создаваемая при условии, что расстояние L между мишенью

и регистратором (рис. 4) достаточно велико по сравнению с размерами пятна (диаметром пятна D_p), может быть определена следующим выражением [7]:

$$L_{zp} = \frac{E_n}{\pi} \cdot \beta, \quad (9)$$

где β – коэффициент яркости поверхности мишени, значение которого определяется направлениями подсвета и визирования пятна регистрирующей системой [8].

Подставим (2) в (9):

$$L_{zp} = \frac{0,8 \cdot W_{\lambda} \cdot \tau_{a1}}{\tau_{uшн} \cdot S_n \cdot \pi} \cdot \beta \cdot \cos \theta_l \quad (10)$$

Поток $\Phi_{отрФП}$, создаваемый на регистрирующей площадке смотрящей системы отраженным от мишени излучением подсвета, определяется по формуле:

$$\Phi_{отрФП} = S_n \cdot L_{zp} \cdot \frac{S_{zp}}{L^2} \quad \text{при} \quad \frac{f'}{D_{zp}} < \frac{1}{2}, \quad (11)$$

где S_n – площадь лазерного пятна на мишени;

S_{zp} – площадь зрачка оптической системы;

D_{zp} – диаметр зрачка оптической системы;

f' – заднее фокусное расстояние смотрящей системы.

Подставим (10) в (11) и получим:

$$\Phi_{отрФП} = \frac{0,8 \cdot W_{\lambda} \cdot \tau_{a1}}{\pi \cdot \tau_{uшн}} \cdot \frac{S_{zp}}{L^2} \cdot \beta \cdot \cos \theta_l, \quad (12)$$

Определим ту часть энергии потока $\Phi_{фп}$, которая приходится на фоточувствительную площадку приемника. Согласно равенству Аббе:

$$S_n \cdot \sin^2 \sigma_a = S_{\text{и}} \cdot \sin^2 \sigma'_a, \quad (13)$$

где $S_{\text{и}}$ – площадь изображения лазерного пятна;

σ_a – апертурный угол в пространстве предметов;

σ'_a – апертурный угол в пространстве изображений.

Выразим из этого выражения площадь изображения лазерного пятна:

$$S_{\text{и}} = S_n \frac{\sin^2 \sigma_a}{\sin^2 \sigma'_a}. \quad (14)$$

Передний апертурный угол определяется по формуле:

$$\sin^2 \sigma_a = \frac{D_{zp}^2}{4L^2}. \quad (15)$$

Задний апертурный угол определяется по формуле:

$$\sin^2 \sigma'_a = \frac{D_{zp}^2}{4f'^2}, \quad (16)$$

где f' – заднее фокусное расстояние оптической системы.

Подставим выражения (15) и (16) в (14):

$$S_{\text{и}} = S_n \frac{\sin^2 \sigma_a}{\sin^2 \sigma'_a} = S_n \frac{f'^2}{L^2}. \quad (17)$$

Так как $S_{\text{и}} = \pi \cdot r_{\text{и}}^2$ и $S_n = \pi \cdot R_n^2$, то:

$$\pi \cdot r_{\text{и}}^2 = \pi \cdot R_n^2 \cdot \frac{f'^2}{L^2}, \quad (18)$$

где $r_{\text{и}}$ – радиус изображения лазерного пятна.

Отсюда

$$r_{\text{и}} = R_n \frac{f'}{L}. \quad (19)$$

Зная радиус приемной площадки фотодиода $r_{\text{фд}}$, можно определить поток, поступающий на фотодиод отраженным от мишени излучением лазерной системы подсвета $\Phi_{отрФП*}$ (при условии, что $r_{\text{фд}} \leq r_{\text{и}}$):

$$\Phi_{\text{отрФП}^*} = \frac{r_{\text{фд}}}{r_{\text{н}}} \Phi_{\text{отрФП}}. \quad (20)$$

Конечная формула для определения потока излучения, поступающего на фотодиод от пятна подсвета:

$$\Phi_{\text{отрФП}^*} = \frac{r_{\text{фд}}}{r_{\text{н}}} \cdot \frac{0,8 \cdot W_{\lambda} \cdot \tau_{\text{ал}}}{\pi \cdot \tau_{\text{шп}}} \cdot \frac{S_{\text{зр}}}{L^2} \cdot \beta \cdot \cos \theta_1. \quad (21)$$

Для нахождения потока излучения на фотоприемнике с учетом действия фонового излучения необходимо определить его яркость, формирующую освещенность в области расположения этого фотоприемника:

$$L_{\text{фон}} = \frac{E_{\text{фон}}}{\pi} \cdot \beta, \quad (22)$$

где $E_{\text{фон}}$ – освещенность на входном зрачке, создаваемая той частью мишени, которая формирует фоновое излучение на фотоприемник.

По аналогии с формулой (11):

$$\Phi_{\text{отрФПфон}} = S_{\text{н}} \cdot L_{\text{фон}} \cdot \frac{S_{\text{зр}}}{L^2}, \quad (23)$$

Тогда:

$$\Phi_{\text{отрФПфон}^*} = \frac{r_{\text{фд}}}{r_{\text{н}}} \cdot S_{\text{н}} \cdot \frac{E_{\text{фон}}}{\pi} \cdot \frac{S_{\text{зр}}}{L^2} \cdot \beta \quad \text{при} \quad \frac{f'}{D_{\text{зр}}} < \frac{1}{2} \quad \text{и} \quad \frac{L}{D_{\text{н}}} > 10. \quad (24)$$

Искомый поток на фотоприемнике с учетом фона может быть определен следующим образом:

$$\Phi_{\text{отрФПобщ}} = \frac{r_{\text{фд}}}{r_{\text{н}}} \cdot \frac{S_{\text{зр}}}{\pi \cdot L^2} \cdot \beta \cdot \left(S_{\text{н}} \cdot E_{\text{фон}} + \frac{0,8 \cdot W_{\lambda} \cdot \tau_{\text{ал}}}{\tau_{\text{шп}}} \cdot \cos \theta_1 \right). \quad (25)$$

Методика выбора порога чувствительности системы регистрации лазерного пятна, основанная на статическом способе. Представлена схема эксперимента при статическом способе выбора чувствительности фотоприемников (рис. 5).

Оборудование для эксперимента состоит из матрицы фотоприемников и комплекса обработки данных фотоприемников. Комплекс обработки данных от фотоприемников производит обработку принимаемых по радиоканалу данных и выдает информацию о положении лазерного пятна для ее визуализации в специализированной программе.

В данном случае чувствительность фотоприемников выбирается для наиболее важного участка полета носителя, при котором фиксируется либо все пятно целиком (если размеры пятна укладываются в пределах области контроля фотоприемниками), либо энергетический центр пятна (если размеры пятна превышают области контроля фотоприемниками).

Для выбора порога чувствительности статическим способом перед проведением эксперимента необходима информация о метеопрогнозе на дату и время проведения эксперимента, а также о положении Солнца. Из задания на натурную работу необходима информация о высоте, курсе, скорости носителя, а также о траектории полета объекта: пологое снижение, горизонтальный полет, пикирование или кабрирование.

Далее, исходя из характеристик источника и приемника лазерного излучения, а также характеристик фоноцелевой обстановки, производится расчет предполагаемой освещенности фотоприемников и их выходных сигналов.



Рисунок 5 – Схема эксперимента при статическом способе выбора чувствительности фотоприемников

Подход к расчету выходного сигнала фотодиода с учетом его инерционности при регистрации короткого импульса следующий. Фотоприемник может быть описан апериодическим звеном [9]:

$$W(p) = \frac{S_\lambda}{Tp + 1}, \quad (26)$$

где S_λ – токовая характеристика фотоприемника для длины волны λ лазерного излучения;

p – комплексная переменная.

Реакция апериодического звена на импульс излучения выражается через его весовую функцию и функцию $\Phi_{\text{фп}}(t)$, описывающую форму импульса потока излучения на нем:

$$i(t) = S_\lambda \cdot \int_0^t \Phi_{\text{фп}}(\tau) \cdot g(\tau) d\tau, \quad (27)$$

$$g(t) = \frac{1}{T_{\text{фп}}} e^{-\frac{t}{T_{\text{фп}}}}, \quad (28)$$

где t – текущее время (время длительности импульса подсвета);

$T_{\text{фп}}$ – постоянная времени фотодиода;

$g(t)$ – весовая функция апериодического звена.

В приближении прямоугольного импульса:

$$\Phi_{\text{фп}}(t) = \begin{cases} \Phi_{\text{фп}} & \text{при } 0 < t < \tau_n, \\ 0 & \text{при } t \notin [0, \tau_n]. \end{cases} \quad (29)$$

Формула (29) позволяет производить расчет предполагаемого тока на фотоприемнике для любой из рассмотренных схем применения системы регистрации пятна.

На основании приведенных формул строится соответствующая компьютерная модель [10].

Методика динамической настройки порога чувствительности системы регистрации лазерного пятна. Для выбора порога чувствительности динамическим способом перед проведением эксперимента также необходима такая же априорная информация, которая используется и при статическом способе. Кроме этого, по информации о текущем положении носителя в вычислителе комплекса обработки данных в реальном времени выполняется расчет предполагаемой освещенности и выходных сигналов фотоприемников. По результатам этого расчета в каждом его такте регулируется чувствительность фотоприемников.

Схема оборудования состоит из системы регистрации пятна, комплекса управления чувствительностью фотоприемников и комплекса обработки сигнала фотоприемников (рис. 6). Комплекс управления чувствительностью фотоприемников регулирует чувствительность двумя способами:

- с использованием текущих параметров полета объекта на основании бортовой телеметрической информации;
- с использованием прогнозируемых параметров полета.

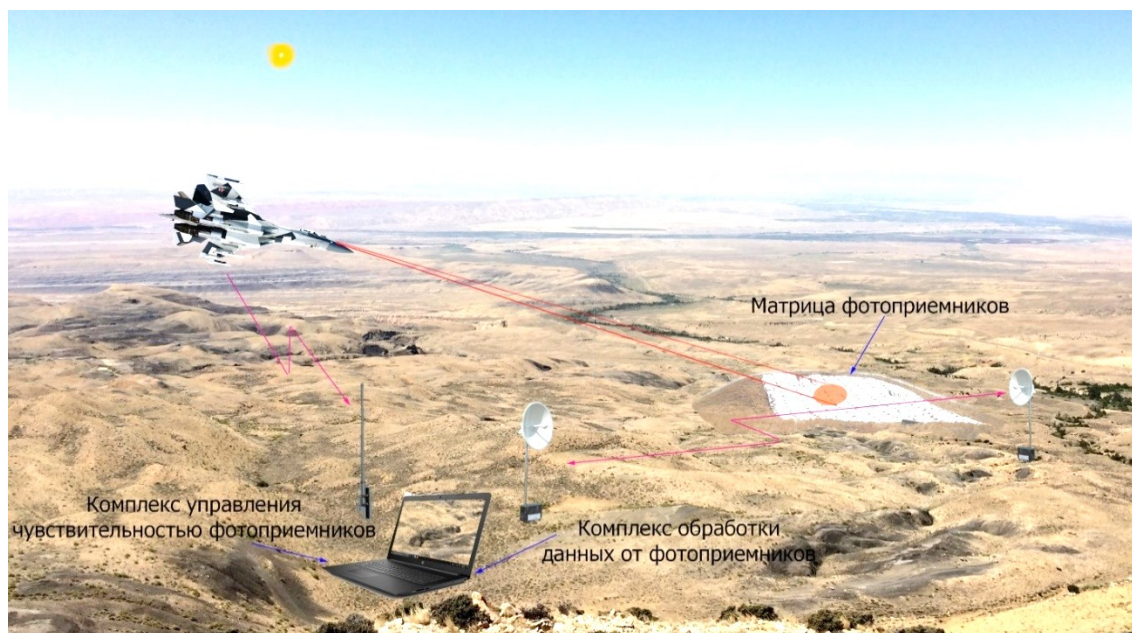


Рисунок 6 – Схема эксперимента при динамическом способе выбора чувствительности фотоприемников

Во втором случае требуется тщательная проработка полетного задания летным составом с целью точного следования ему при выполнении заходов.

Чувствительность фотоприемников в течение всего захода выбирается таким образом, чтобы фиксировать либо все пятно целиком (если размеры пятна укладываются в пределах области контроля фотоприемниками), либо энергетический центр пятна (если размеры пятна превышают области контроля фотоприемниками).

Заключение. Предлагаемая методика основана на предварительном расчете потока излучения [2, 3], падающего на фотоприемное устройство, с учетом дальности и углов визирования мишени, характеристик излучателя и погодных условий. Применение такого подхода к планированию летных экспериментов, с одной стороны, уменьшит временные и материальные затраты на их подготовку, так как исключит предварительные заходы носителя на мишень с целью выставки порогов. С другой стороны, повысит достоверность оценок положения энергетического центра пятна на мишени за счет минимизации «ложных засветок».

Предлагаемая регулировка порога срабатывания фотоприемников может быть реализована двумя способами:

а) проще реализуется статический способ, при котором подстройка чувствительности детекторов осуществляется, исходя из заданного диапазона дальности подсвета, в котором необходимо обеспечить требуемую точность регистрации положения пятна. Подстройка проводится перед проведением летного эксперимента;

б) сложнее реализуется динамический способ, при котором осуществляется автоматическая подстройка чувствительности с учетом изменений пространственного положения подсветчика воздушного базирования относительно мишени в ходе полета.

Библиографический список

1. Стариков, В. М. Мобильный полигонный комплекс сбора данных для информационного обеспечения летного эксперимента / В. М. Стариков // Передача, прием, обработка и отображение информации о быстропротекающих процессах : сборник докладов Всероссийской научно-технической школы-семинара, 1–4 октября, г. Сочи. – С. 699–705.

2. Хисматов, И. Ф. Имитационная трехмерная модель поля яркости наземной фоновой обстановки опико-электронной системы конечного наведения / И. Ф. Хисматов // Труды ГосНИИАС. Вопросы авионики. – 2019. – № 4 (44). – С. 19–38.

3. Куншина, М. С. Моделирование полей яркости наземных фоновых сюжетов в оптическом диапазоне спектра с учетом действия направленных источников подсветки / М. С. Куншина, Д. Т. Тиранов, В. Л. Филиппов, В. С. Язык // Оборонная техника. – 2010. – № 6–7, – С. 28–33.

4. Танташев, М. В. Программа для расчета собственного излучения атмосферы в оптическом диапазоне электромагнитных волн : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014660669

/ М. В. Танташев, В. Л. Филиппов, Я. В. Овсянников, И. Г. Вендеревская. – Дата регистрации в Реестре программ для ЭВМ 13.10.2014. – Заявка № 2014618551 от 26.08.14.

5. Филиппов, В. Л. Модель для расчета прозрачности атмосферы на произвольно ориентированных оптических трассах : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014660671 / В. Л. Филиппов, В. П. Иванов, М. В. Танташев, Я. В. Овсянников. – Дата регистрации в Реестре программ для ЭВМ 13.10.2014. – Заявка № 2014618562 от 26.08.14.

6. Заказнов, Н. П. Теория оптических систем / Н. П. Заказнов, С. И. Кирюшин, В. И. Кузичев. – Москва : Машиностроение, 1992.

7. Менделеев, В. Я. Методика измерения мощности излучения исследуемого материала и модели абсолютно черного тела для определения нормальной излучательной способности материала / В. Я. Менделеев, В. В. Качалов // Оптический журнал. – 2020. – янв. – Т. 87, № 1. – С. 77–80.

8. Тиранов, Д. Т. Моделирование индикатрис коэффициента яркости диффузно и направленно отражающих материалов при направленном облучении / Д. Т. Тиранов // Оборонная техника. – 2010. – № 6–7. – С. 33–37.

9. Гаркушенко, В. И. Теория автоматического управления : учебное пособие / В. И. Гаркушенко, Г. Л. Дегтярев. – Казань, 2010.

10. Карпов, А. И. Разработка компьютерной модели и исследование динамики системы автоматического управления бортовым оптико-электронным прибором / А. И. Карпов, В. А. Крнев, Д. А. Молин, А. Л. Гаврилов, Е. А. Герасин, Д. В. Павлов // Поиск эффективных решений в процессе создания и реализации научных разработок в российской авиационной и ракетно-космической промышленности : сборник докладов Международной научно-практической конференции, 5–8 августа 2014 г. – Казань, 2014. – С. 255–257.

References

1. Starikov, V. M. Mobilnyy poligonnyy kompleks sbora dannykh dlya informatsionnogo obespecheniya letnogo eksperimenta [Mobile polygon data collection complex for information support of a flight experiment]. *Peredacha, priem, obrabotka i otobrazhenie informatsii o bystrotekushchikh protsessakh : sbornik dokladov Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy shkoly-seminara* [Transmission, reception, processing and display of information about fast-flowing processes : proceedings of the All-Russian scientific and technical school-seminar], October 1–4, Sochi, pp. 699–705.

2. Khismatov, I. F. Imitatsionnaya trekhmernaya model polya yarkosti nazemnoy fonotselevoy obstanovki optiko-elektronnoy sistemy konechnogo navedeniya [Imitating three-dimensional model of the brightness field of a ground-based phono-target environment of an optoelectronic final guidance system]. *Trudy GosNIIAS. Voprosy avioniki* [Proceedings of GosNIIAS. Avionics Issues.], 2019, no. 4 (44), pp. 19–38.

3. Kunshina, M. S., Tiranov, D. T., Filippov, V. L., Yatsyk, V. S. Modelirovanie poley yarkosti nazemnykh fonotselevykh syuzhetov v opticheskom diapazone spektra s uchedom deystviya napravlennykh istochnikov podsvetki [Modeling of brightness fields of ground-based phono-target plots in the optical range of the spectrum taking into account the action of directional illumination sources]. *Oboronnaya tekhnika* [Defense Equipment], 2010, no. 6–7, pp. 28–33.

4. Tantashev, M. V., Filippov, V. L., Osvyannikov, Ya. V., Venderevskaya, I. G. *Programma dlya rascheta sobstvennogo izlucheniya atmosfery v opticheskom diapazone elektromagnitnykh voln : svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2014660669* [A program for calculating the intrinsic radiation of the atmosphere in the optical range of electromagnetic waves : certificate of state registration of the computer program No. 2014660669]. Date of registration in the Register of computer programs 13.10.2014. Application no. 2014618551 dated 26.08.14].

5. Filippov, V. L., Ivanov, V. P., Tantashev, M. V., Osvyannikov, Ya. V. Model dlya rascheta prozrachnosti atmosfery na proizvolno orientirovannykh opticheskikh trassakh : svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2014660671. [A model for calculating the transparency of the atmosphere on arbitrarily oriented optical routes : certificate of state registration of a computer program No. 2014660671]. The date of registration in the Register of computer programs is 13.10.2014. Application No. 2014618562 dated 26.08.14.

6. Zakaznov, N. P., Kiryushin, S. I., Kuzichev, V. I. *Teoriya opticheskikh sistem* [Theory of optical systems]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1992.

7. Mendeleev, V. Ya., Kachalov, V. V. Metodika izmereniya moshchnosti izlucheniya issleduemogo materiala i modeli absolutno chernogo telya dlya opredeleniya normalnoy izluchatelnoy sposobnosti materiala [Method of measuring the radiation power of the material under study and the blackbody model for determining the normal emissivity of the material]. *Opticheskiy zhurnal* [Optical magazine], Volume 87, no. 1, January 2020, pp. 77–80.

8. Tiranov, D. T. Modelirovanie indikatriss koeffitsienta yarkosti diffuzno i napravlenno otrazhayushchikh materialov pri napravlennom obluchenii [Modeling of the brightness coefficient indicatrix of diffusely and directionally reflecting materials under directed irradiation]. *Oboronnaya tekhnika* [Defense equipment], 2010, no. 6–7, pp. 33–37.

9. Garkushenko, V. I., Degtyarev, G. L. *Teoriya avtomaticheskogo upravleniya : uchebnoe posobie* [Theory of automatic control : training manual]. Kazan, 2010.

10. Karpov, A. I., Krenev, V. A., Molin, D. A., Gavrilov, A. L., Gerasin, E. A., Pavlov, D. V. *Razrabotka kompyuternoy modeli i issledovanie dinamiki sistemy avtomaticheskogo upravleniya bortovym optiko-elektronnym priborom* [Development of a computer model and study of the dynamics of an on-board optoelectronic device automatic control system]. *Poisk effektivnykh resheniy v processe sozdaniya i realizatsii nauchnykh razrabotok v rossiyskoy aviatsionnoy i raketno-kosmicheskoy promyshlennosti : sbornik dokladov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Search for effective solutions in the process of creating and implementing scientific developments in the Russian aviation and rocket and space industry : proceedings of the international scientific and practical conference], August 5–8, 2014. Kazan, 2014, pp. 255–257.

УДК 623.4

**ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПОВ И МЕХАНИЗМОВ СИСТЕМЫ ЛИДАР
В ПРИЦЕЛЬНО-НАВИГАЦИОННОМ КОМПЛЕКСЕ**

Статья поступила в редакцию 19.07.2021, в окончательном варианте – 09.10.2021.

Тихомиров Никита Владимирович¹, Московский авиационный институт, 416500, Российская Федерация, г. Ахтубинск, ул. Добролюбова, 5, студент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0158-7873>, e-mail: nikita.tihomirov1999@icloud.com

Маслиев Алексей Анатольевич, ИМК ФГУП «ГосНИИАС», 416500, Российская Федерация, г. Ахтубинск-7, Московский авиационный институт, 125993, Российская Федерация, г. Москва, Волоколамское шоссе, 4, аспирант, старший преподаватель, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7231-2263>, e-mail: panoramasix@gmail.com

В статье проводится исследование, основанное на изучении и анализе возможностей улучшения работы прицельно-навигационных комплексов с помощью системы лидар. Этот вопрос ещё мало изучен, поэтому и представляет большой интерес. В основе работы некоторых прицельно-навигационных комплексов лежит расчёт траектории полёта неуправляемого снаряда путём корреляции множества влияющих на него факторов (аэродинамические свойства боеприпаса, множество параметров полёта летательного аппарата, внешние факторы и др.). Для увеличения точности бомбометания, объекту необходимо собрать информацию из внешней среды путём совершения множества манёвров, на которые требуется большое количество времени. Время сбора информации – очень важный фактор, определяющий успешность операции в боевых условиях, поэтому его всегда необходимо минимизировать. Для сокращения времени сбора информации предлагается ввести принципы и механизмы системы лидар. Это позволит расширить спектр доступных тактических приемов объекта при поиске цели, выходе на цель, прицеливании и применении оружия по наземным целям. Описанное в статье предложение по модернизации прицельно-навигационных комплексов расширит возможности данной системы, что в условиях боя даст дополнительное преимущество над противником.

Ключевые слова: лидар, сканирование, прицельно-навигационный комплекс, лазер, оптическая система

**APPLICATION OF THE PRINCIPLES AND MECHANISMS OF THE LIDAR SYSTEM
IN SIGHTING AND NAVIGATION SYSTEM**

The article was received by the editorial board on 19.07.2021, in the final version – 09.10.2021.

Tikhomirov Nikita V., Moscow Aviation Institute, 5 Dobrolyubov St., Akhtubinsk, 416500, Russian Federation,

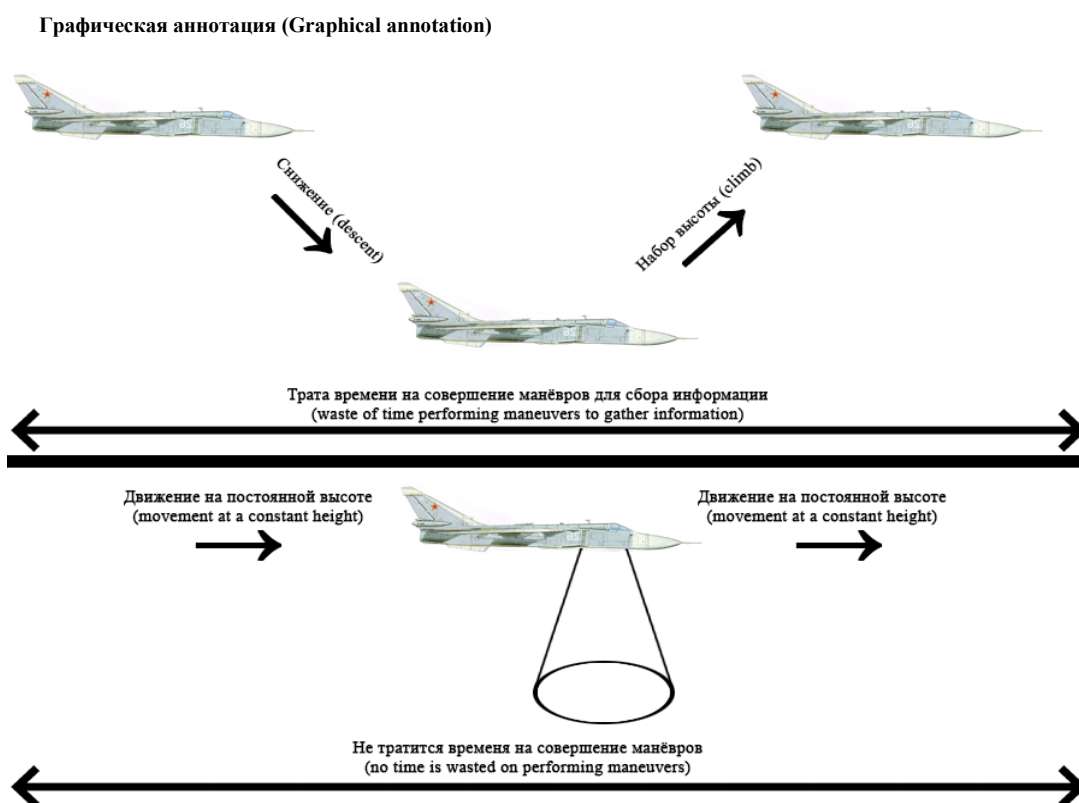
student, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0158-7873>, e-mail: nikita.tihomirov1999@icloud.com

Masliev Aleksej A., ИМК ФГУП «ГосНИИАС», Ахтубинск-7, 416500, Russian Federation, Moscow Aviation Institute, 4 Volokolamskoe shosse, Moscow, 125993, Russian Federation, postgraduate student, Senior Lecturer, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7231-2263>, e-mail: panoramasix@gmail.com

In the article “Application of the principles and mechanisms of the lidar system in sighting and navigation system”, is conducted a research based on the study and analysis of the possibilities for improving the work of sighting and navigation systems using the lidar system. This question is still little studied, so it is of great interest. There is the trajectory of unguided missile by the correlation of multiple factors affecting it (the aerodynamic properties of ammunition, a set of flight parameters of the aircraft, external factors, etc.) at the core of the several sighting and navigation systems. To increase the precision of the bombing, the aircraft must gather information from the external environment through a variety of maneuvers that require a large amount of time. The time of information collection is a very important factor determining the success of an operation in combat conditions, so it is always necessary to minimize it. To reduce the time of information collection, it is proposed to introduce the principles and mechanisms of the lidar system. It will allow you to expand the range of available tactical techniques of the object when searching for a target, entering the target, aiming and using missiles on the ground targets. The proposal described in the article for the modernization of the in sighting and navigation system will expand the capabilities of this system, which will give an additional advantage over the enemy in combat conditions.

Keywords: lidar, scanning, sighting and navigation system, laser, optical system

¹ Научный руководитель – Хисматов Игорь Федорович, АО «Концерн воздушно-космической обороны «Алмаз-Антей», 121471, Российская Федерация, г. Москва, ул. Верейская, 41. Доктор технических наук, e-mail: abu-sergey@yandex.ru



Введение. Время сбора информации – очень важный фактор, определяющий успешность операции в боевых условиях, поэтому его всегда необходимо минимизировать [1]. Также решающим фактором боевой операции является точность бомбардировки, зависящая от технического совершенства используемого оборудования. Мгновенные изменения боевой ситуации и молниеносные действия противников повышают требования к точности оборудования и времени сбора информации, необходимого для формирования решения на совершение конкретных действий. Промедление на поле боя может повлечь за собой огромные последствия.

Начнём с того, что же все-таки из себя представляет лидар? Это технология получения и обработки информации об удалённых объектах с помощью активных оптических систем, использующих явления поглощения и рассеяния света в оптически прозрачных средах. Применение лидаров началось ещё в 1963 году. Тогда это был наземный лазерный дальномер, использующийся в военных целях. Широко известна система лидар стала после её использования в 1971 год в качестве лазерного дальномера на космическом аппарате «Аполлон-15». Система применялась для картирования поверхности Луны [3]. В настоящее время лидар используется на самолётах гражданской авиации (в частности, на Boeing 777F) различных стран для отслеживания неоднородностей воздушных масс [3].

В настоящее время самолёты очень часто оснащаются прицельно-навигационными комплексами (ПНК) [4]. Такое оборудование позволяет с помощью датчиков, установленных на борту летательного аппарата, получать различную информацию из внешней среды, коррелировать данные и выдавать решение на применение боеприпаса в определённый момент времени. Данная система активно используется в боевых действиях и позволяет повысить результативность применения оружия.

В статье рассматривается возможность применения принципов и механизмов системы лидар в прицельно-навигационном комплексе. Данная модификация прицельной системы позволит повысить точность авиационных средств поражения и расширить спектр тактических приёмов, которые может произвести летательный аппарат, оснащённый этой системой.

Тема использования доплеровских лидаров для сканирования пространства уже раскрыта во многих российских и зарубежных статьях [4]. Однако тема объединения лидара и ПНК для их совместного применения актуальна и требует дальнейшего развития.

Описание прицельно-навигационного комплекса. В основе работы прицельно-навигационного комплекса лежит расчёт траектории полёта неуправляемого снаряда путём корреляции множества влияющих на него факторов (аэродинамических свойств боеприпаса, множества параметров полёта летательного аппарата, внешних факторов и др.) [5, 6].

Система постоянно отслеживает позиции самолета и цели (используя ГЛОНАСС), измеряет давление, влажность, скорость ветра и самолета, направление полета. Она может получать дополнительную информацию от наземных станций и других самолетов. Прицельно-навигационный комплекс вычисляет момент отцепки снаряда для его максимально точного попадания в цель (в пределах погрешности) [6].

Необходимым условием получения информации из внешней среды для ПНК является совершение летательным аппаратом некоторого количества манёвров, на которые требуется определенное количество времени. Чем больше актуальной информации из внешней среды будет собрано, тем точнее система позволит рассчитать момент отцепки боеприпаса [7].

Описание лидара. В основе системы лидар (транслитерация слова LIDAR, от англ. Light Detection and Ranging «обнаружение и определение дальности с помощью света») лежит технология получения и обработки информации об удалённых объектах с помощью активных оптических систем, использующих явления поглощения и рассеяния света в оптически прозрачных средах [8].

Система рассчитывает, сколько времени требуется свету для попадания в объект и отражения обратно в сканер. Лидар может генерировать более 1 000 000 импульсов в секунду. Каждое из этих измерений или результатов может быть преобразовано в трёхмерную визуализацию, которая представляет собой облако точек.

Основные виды систем лидар:

1. Сканирующие лидары в системах машинного зрения, которые формируют двумерную или трёхмерную картину окружающего пространства.

2. «Атмосферные» лидары, которые способны не только определять расстояния до непрозрачных отражающих целей, но и анализировать свойства прозрачной среды, рассеивающей и поглощающей свет. Разновидностью атмосферных лидаров являются доплеровские лидары, определяющие направление и скорость перемещения воздушных потоков в различных слоях атмосферы [9].

Для решения каждой задачи используется конкретная схема лидара. Однако во всех случаях в лидаре непременно присутствуют три основных блока [10]:

- 1) лазерный источник излучения с отражающей системой;
- 2) принимающая система с фотодетектором;
- 3) регистратор лидарных сигналов (светофильтр, позволяющий выделить из принятого излучения, излучение на необходимой длине волны).

Представлена структурная схема аэрозольного лидара (рис. 1).

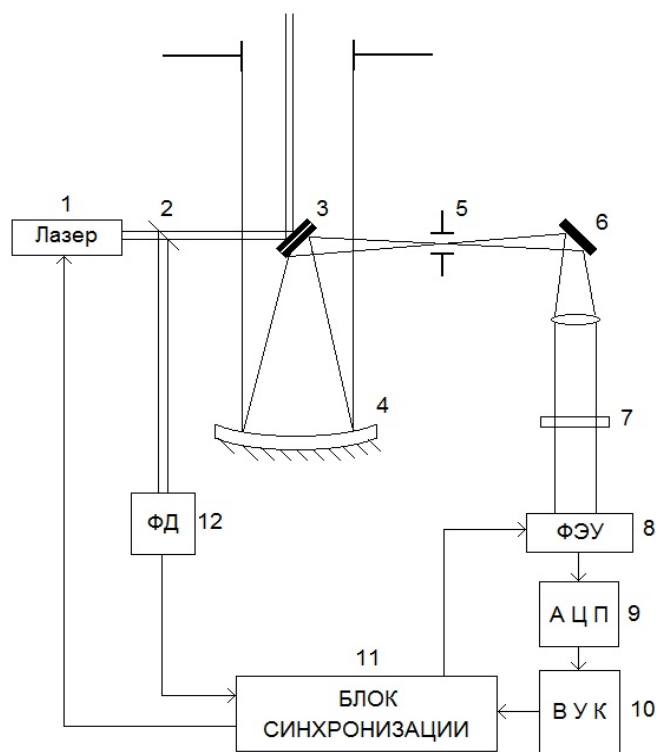


Рисунок 1 – Структурная схема аэрозольного лидара

На структурной схеме показаны [11]:

1. Лазер на иттрий-алюминиевом гранате генерирует импульсы на длине волны 532 нм.
2. Прозрачный отражатель – посылает часть энергии на фотодиод 12.
3. Отражающая система – посылает сигнал на рассматриваемый объект, а также направляет принятый сигнал на фотоприёмное устройство.
4. Зеркало принимающего телескопа.
5. Полевая диафрагма – влияет на угловое поле зрения телескопа.
6. Отражающая система – посылает сигнал на приемник.
7. Светофильтр – позволяет выделить из принятого потока излучение на необходимой длине волны.
8. ФЭУ, фотоэлектронный умножитель – преобразует оптическое излучение в электрический сигнал.
9. АЦП, аналого-цифровой преобразователь – преобразует аналоговый сигнал ФЭУ в цифровой вид.
10. ВУК, вычислительно-управляющий комплекс – проводит оценку и измерение принятого сигнала, а также задает режим работы блока синхронизации.
11. Блок синхронизации – синхронизирует работу лазера и ФЭУ, создает задержку начала работы ФЭУ, связанную со временем движения пучка до рассеивающего объекта, а также времени движения рассеянного пучка обратно до лидара.
12. ФД, фотодиод – регистрирует время излучения сигнала в атмосферу.

Таким образом, система лидар позволяет мгновенно собрать некоторые виды информации (температуру, скорость ветра на определённой высоте, влажность воздуха) удаленно, без траты огромного количества времени на маневрирование.

Лидарные расчёты. В отличие от радиоволн, эффективно отражающихся только от достаточно крупных металлических целей, световые волны подвержены рассеянию в любых средах, в том числе в воздухе. Поэтому возможно не только определять расстояние до непрозрачных (отражающих свет) дискретных целей, но и фиксировать интенсивность рассеивания света в прозрачных средах. Возвращающийся отражённый сигнал проходит через ту же рассеивающую среду, что и луч от источника, подвергается вторичному рассеиванию, поэтому восстановление действительных параметров распределённой оптической среды – достаточно сложная задача, решаемая как аналитическими, так и эвристическими методами [12].

Распространяясь по атмосферной трассе зондирования, лазерный импульс лидара испытывает поглощение и рассеяние на молекулах аэрозоля атмосферы. Так как расстояние до любого рассеивающего объёма на трассе зондирования однозначно определяется по значению временного интервала с момента посылки лазерного импульса, а интенсивность принятого сигнала в каждый момент времени зависит как от свойств конкретного рассеивающего объёма атмосферы, так и от характеристик всей атмосферной трассы зондирования на двойном пути от лидара до рассеивающего объёма и обратно, приводится функциональная связь между всеми параметрами приёмопередающей системы лидара и интенсивностями принимаемого с различных расстояний протяжённой трассы зондирования локационного сигнала [13]:

$$P(r) = \eta P_0 A \frac{c\tau}{2} r^{-2} \beta_n(r) \exp\left[-2 \int_0^r \alpha(r') dr'\right], \quad (1)$$

где $P(r)$ – мощность эхо-сигнала;

P_0 – мощность зондирующего импульса;

A – площадь зеркала принимающего телескопа лидара;

r – расстояние от лидара до зондируемого объёма атмосферы;

c – скорость света;

τ – длительность импульса;

$\beta_n(r)$ – сечение взаимодействия в направлении назад;

$\alpha(r')$ – объёмный коэффициент ослабления;

η – калибровочная константа.

В данном выражении экспонента и её показатель характеризуют квадрат прозрачности слоя атмосферы между лидаром и зондируемым объёмом.

Таким образом, система лидар позволяет дистанционно измерять температуры и скорости ветра на различных высотах путём активного зондирования атомарного натрия с использованием узкополосного лазерного излучения. Суть этого измерения связана с эффектом Доплера. Доплеровское уширение спектральной линии связано с движением молекул, их поглощательной и излучательной способностью. Распределение скоростей атомов натрия описывается распределением Максвелла – Больцмана. Доплеровское уширение спектральной линии обусловлено хаотическим тепловым движением атомов или молекул. Оно наиболее характерно для разреженных газообразных светящихся сред [14].

Доплеровское уширение спектральной линии приводит к распределению энергии в спектре, выражаемому следующей формулой:

$$S(\omega) = S_0 \exp \left[-\frac{mc^2}{2kT} \left(\frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} \right)^2 \right], \quad (2)$$

где S_0 – спектральная плотность интенсивности излучения в центре линий на частоте ω_0 .

Представлен контур линии поглощения натрия при различных температурах (рис. 2).

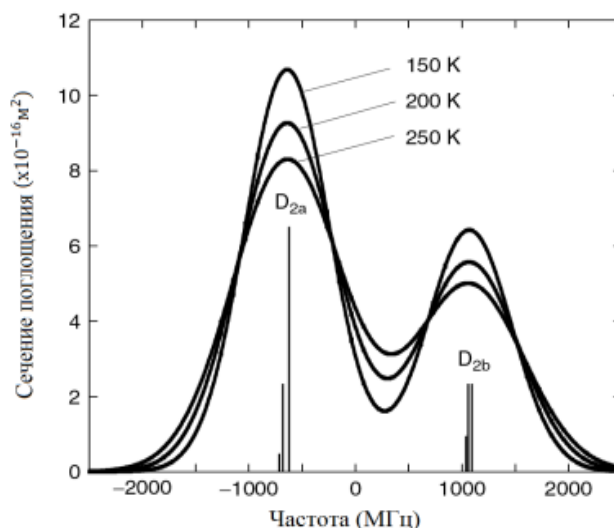


Рисунок 2 – Контур линии поглощения натрия при различных температурах

Измерение скорости ветра с использованием атомарного натрия определяется из измерения сдвига от центральной частоты D_2 атомарного натрия. Основываясь на ячейке с парами натрия и определяя сдвиг частоты, мы можем определить скорость ветра.

Представлен контур спектральной линии поглощения натрия при различных скоростях (рис. 3).

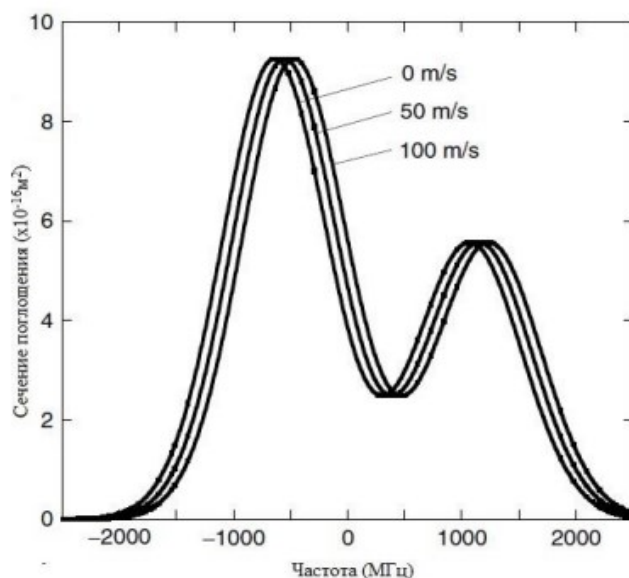


Рисунок 3 – Контур линии поглощения натрия при различных скоростях

Пример. Допустим, требуется сбросить неуправляемый боеприпас с высоты 6 км, и для сбора максимально полной информации о ветре по основным срезам высот требуется совершить манёвр в диапазоне от 1000 до 6000 м. Пусть вертикальная скорость объекта V постоянна и равна 50 м/с.

Представлен пример манёвра для сбора информации о ветре (рис. 4).

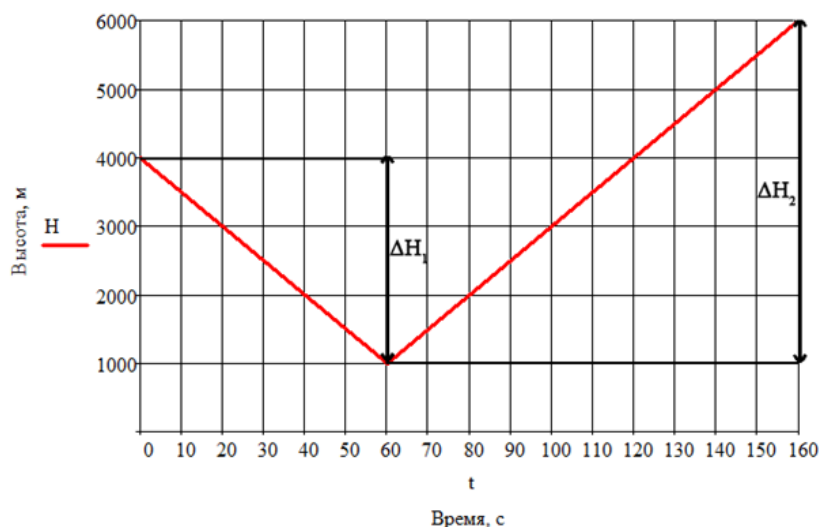


Рисунок 4 – Пример манёвра для сбора информации без применения системы лидар

Для манёвра перемещения с высоты 4000 м на высоту 1000 м (разница высот ΔH_1 составляет 3000 м), а затем на высоту 6000 м (разница высот ΔH_2 составляет 5000 м) необходимо затратить:

$$t = \frac{\Delta H_1 + \Delta H_2}{V} = \frac{3000 + 5000}{50} = 160 \text{ с.}$$

В случае применения лидара с максимальной дальностью мгновенного определения скорости ветра, равной 5 км, время сбора информации занимает доли секунды, и манёвр объектом совершается только в интересах вывода на нужную высоту для сброса боеприпаса (рис. 5).

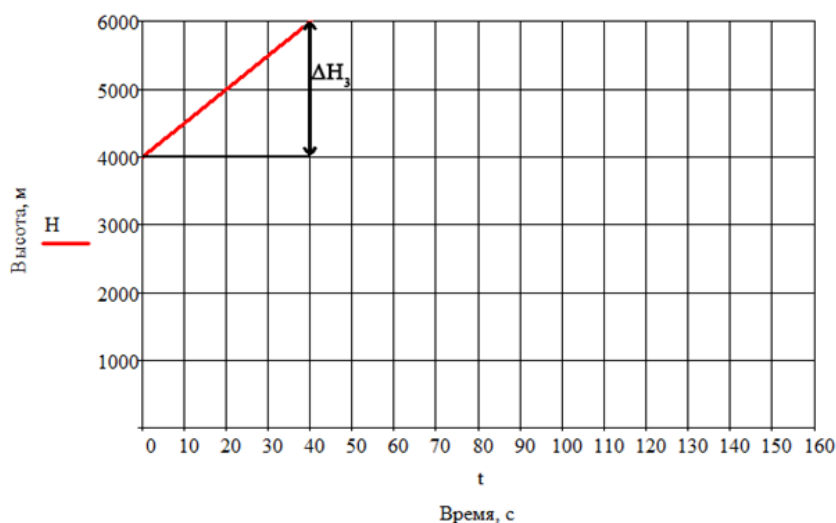


Рисунок 5 – Пример манёвра для сброса боеприпаса с применением системы лидар

Объекту необходимо только занять высоту 6000 м (разница высот ΔH_3 составляет 2000 м) для сброса боеприпаса, так как о скорости ветра по всем высотам ниже текущей высоты получена информация от системы лидар:

$$t_3 = \frac{\Delta H_3}{V} = \frac{2000}{50} = 40 \text{ с.}$$

Пределы высот маневрирования определяются возможностями устанавливаемой системы лидар.

Приведённые расчёты наглядно показывают преимущества предлагаемой модернизации ПНК.

Заключение. В данной статье показано, что применение принципов и механизмов системы лидар в прицельно-навигационном комплексе позволяет значительно уменьшить время, необходимое для расчёта траектории полёта неуправляемого снаряда, поскольку требуемая для систем расчетов скорость ветра и температура атмосферы по срезам высот определяется мгновенно без выполнения маневров объектом.

Библиографический список

1. Васильев, В. Проблемные вопросы организации информационного обеспечения управления ударными авиационными комплексами / В. Васильев, П. Федюнин, М. Данилин, А. Васильев // Труды МАИ. – 2019. – № 105. – С. 16.
2. Apollo 15 Mission // Lunar and Planetary Institute. – Режим доступа: https://www.lpi.usra.edu/lunar/missions/apollo/apollo_15/experiments/la, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 16.06.2021).
3. Boeing and JAXA to Flight-test Technology to Improve Safety // Boeing: The Boeing Company. – Режим доступа: <https://boeing.mediaroom.com/2017-08-02-Boeing-and-JAXA-to-Flight-test-Technology-to-Improve-Safety>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 16.06.2021).
4. Иванов, Д. Применение систем СВП-24 «Гефест» в боевых действиях / Д. Иванов, Д. Гурулев, О. Кокшаров // Трибуна ученого. – 2020. – № 8. – с. 24–28.
5. СВП-24 (прицельно-навигационный комплекс) // Wikipedia. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/СВП-24_\(прицельно-навигационный_комплекс\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/СВП-24_(прицельно-навигационный_комплекс)), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 18.02.2021).
6. Technology SITREP: How Russian engineering made the current operation in Syria possible // The Vineyard of the Saker. – Режим доступа: <http://thesaker.is/technology-sitrep-how-russian-engineering-made-the-current-operation-in-syria-possible>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 19.02.2021).
7. Никольский, М. Путь к совершенству / М. Никольский // Статьи про Авиатехнику. – Режим доступа: <http://aviation-gb7.ru/Su-24SVP24.htm>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 21.02.2021).
8. Личман, Г. Системы технического зрения, используемые в точном земледелии (часть 2) / Г. Личман, И. Смирнов, А. Беленков // Фермер. Поволжье. – 2017. – № 6. – С. 40–43.
9. Надолинская, П. И. Обзор механики в сфере робототехники и изучение робототехнической системы lidar / П. И. Надолинская // Молодежная наука в развитии регионов. – 2021. – Т. 1. – С. 211–215.
10. Локационные лазерные устройства // Лекции.орг – публикация материала для обучения. – Режим доступа: <https://lektcii.org/5-10914.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 18.02.2021).
11. Энергетический расчет аэрозольного лидара // Образовательный блог – всё для учёбы. – Режим доступа: <https://all4study.ru/raznoe/energeticheskij-raschet-aerozolnogo-lidara.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 17.02.2021).
12. Лидар // Wikipedia – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Лидар>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 18.02.2021).
13. Зуев, В. Е. Дистанционное оптическое зондирование атмосферы : монография / В. Е. Зуев, В. В. Зуев. – Санкт-Петербург : Институт оптики атмосферы, 1992. – 230 с.
14. Метлин, В. О. Дистанционное измерение концентрации натрия, скорости ветра и температуры в мезосфере по интенсивности сигналов резонансной флуоресценции : бакалаврская работа / В. О. Метлин. – Томск : Томский государственный университет, 2016. – 66 с.

References

1. Vasilev V., Fedjunin, P., Danilin, M., Vasilev, A. Problemnye voprosy organizatsii informatsionnogo obespecheniya upravleniya udarnymi aviatsionnymi kompleksami [Problematic issues of the organization of information support for the management of strike aviation complexes]. *Trudy MAI* [Proceedings of MAI], 2019, no. 105, p. 16.
2. Apollo 15 Mission. *Lunar and Planetary Institute*. Available at: https://www.lpi.usra.edu/lunar/missions/apollo/apollo_15/experiments/la (accessed 16.06.2021).
3. Boeing and JAXA to Flight-test Technology to Improve Safety. *Boeing: The Boeing Company*. Available at: <https://boeing.mediaroom.com/2017-08-02-Boeing-and-JAXA-to-Flight-test-Technology-to-Improve-Safety> (accessed 16.06.2021).
4. Ivanov, D., Gurulev, D., Koksharov, O. Primenenie sistem SVP-24 «Gefest» v boevykh deystviyakh [The using of SVP-24 “Nephaestus” systems in combat operations]. *Tribuna uchenogo* [Tribune of the Scientist], 2020, no. 8, pp. 24–28.
5. SVP-24. *Wikipedia*. Available at: [https://ru.wikipedia.org/wiki/СВП-24_\(прицельно-навигационный_комплекс\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/СВП-24_(прицельно-навигационный_комплекс)) (accessed 18.02.2021).
6. Technology SITREP: How Russian engineering made the current operation in Syria possible. *The Vineyard of the Saker*. Available at: <http://thesaker.is/technology-sitrep-how-russian-engineering-made-the-current-operation-in-syria-possible/> (accessed 19.02.2021).
7. Nikolskiy, M. Put k sovershenstvu [The Path to Perfection]. *Stati pro Aviatekhniku* [Articles about Aircraft Engineering]. Available at: <http://aviation-gb7.ru/Su-24SVP24.htm> (accessed 21.02.2021).
8. Lichman, G., Smirnov, I., Belenkov, A. Sistemy tekhnicheskogo zreniya, ispolzuemye v tochnom zemledelii (chast 2) [Vision systems used in precision agriculture (part 2)]. *Fermer. Povolzhe* [Farmer. Volga region], 2017, no. 6, pp. 40–43.
9. Nadolinskaya, P. I. Obzor mekhaniki v sfere robototekhniki i izuchenie robototekhnicheskoy sistemy lidar [Overview of mechanics in the field of robotics and the study of the lidar robotic system]. *Molodezhnaya nauka v razviti regionov* [Youth Science in the Development of Russia], 2021, vol. 1, pp. 211–215.
10. Lokatsionnye lazernye ustroystva [Location laser devices]. *Lektzii.Org – publikatsiya materiala dlya obucheniya* [Lectures.org – publication of training material]. Available at: <https://lektcii.org/5-10914.html> (accessed 18.02.2021).
11. Energeticheskij raschet aerozolnogo lidara [Energy calculation of aerosol lidar]. *Obrazovatelnyy blog – vsyo dlya uchuby* [Educational blog – everything for learning]. Available at: <https://all4study.ru/raznoe/energeticheskij-raschet-aerozolnogo-lidara.html> (accessed 17.02.2021).

12. Lidar. *Wikipedia*. Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Лидар> (accessed 18.02.2021).
13. Zuev, V. E., Zuev, V. V. *Distantionnoe opticheskoe zondirovanie atmosfery : monografiya* [Remote optical sensing of the atmosphere : monograph]. Saint-Petersburg, Institute of Atmospheric Optics, 1992. 230 p.
14. Metlin, V. O. *Distantionnoe izmerenie kontsentratsii natriya, skorosti vetra i temperatury v mezosfere po intensivnosti signalov rezonansnoy fluoressentsii : bakalavrskaya rabota* [Remote measurement of sodium concentration, wind speed, and temperature in the mesosphere by the intensity of resonant fluorescence signals : Bachelor's thesis]. Tomsk, Tomsk State University, 2016. 66 p.

УДК 519.6, 004.021

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОГРУЖЕНИЯ И ВСПЛЫТИЯ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ С УЧЕТОМ ИХ КОНФИГУРАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ПОДВОДНЫХ ЛОДОК)

Статья поступила в редакцию 07.09.2021, в окончательном варианте – 21.10.2021.

Соловьев Денис Сергеевич, Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, 392000, Российская Федерация, г. Тамбов, ул. Интернациональная, 33, кандидат технических наук, доцент, ORCID: 0000-0001-6613-3218, e-mail: solovjevdenis@mail.ru

Соловьева Инна Александровна, ¹Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, 392000, Российская Федерация, г. Тамбов, ул. Интернациональная, 33; ²Тамбовский государственный технический университет, 392000, Российская Федерация, г. Тамбов, ул. Советская, 106,

¹ассистент, ²аспирант, e-mail: good.win32@yandex.ru

Хлебников Владимир Викторович, Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, 392000, Российская Федерация, г. Тамбов, ул. Интернациональная, 33, кандидат физико-математических наук, доцент, e-mail: khlebnikovvv@mail.ru

Самохвалов Алексей Владимирович, Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, 392000, Российская Федерация, г. Тамбов, ул. Интернациональная, 33, кандидат педагогических наук, доцент, e-mail: samohvalov@gmail.com

В работе рассматривается состояние вопроса моделирования поведения подводных аппаратов, на основе анализа которого установлено, что недостаточное внимание уделяется исследованию влияния конфигурации аппарата на процессы погружения и всплытия. Для оптимального управления процессами погружения и всплытия с учетом влияния конфигурации аппарата на основе принятых допущений рассматривается разработка соответствующей математической модели. Математическая модель представляет собой задачу Коши в виде системы обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка с начальными условиями. Решение системы уравнений описывается на основе метода Эйлера с контролем шага по времени. Для численного моделирования разработано программное обеспечение с графическим интерфейсом пользователя. В качестве примера рассматривается моделирование всплытия подводной лодки проекта 945 «Барракуда». На основе анализа результатов численных экспериментов выявлены закономерности, которые можно использовать для выработки оптимальной стратегии управления процессами погружения или всплытия подводной лодки.

Ключевые слова: математическая модель, подводный аппарат, погружение, всплытие, численный метод, задача Коши, программное обеспечение

NUMERICAL SIMULATION OF IMMERSION AND ASCENT PROCESSES FOR UNDERWATER VEHICLES TAKING INTO ACCOUNT THEIR CONFIGURATION (ON THE EXAMPLE OF SUBMARINES)

The article was received by the editorial board on 07.09.2021, in the final version – 21.10.2021.

Solovjev Denis S., Tambov State University named after G.R. Derzhavin, 33 Internatsionalnaya St., Tambov, 392000, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, ORCID: 0000-0001-6613-3218, e-mail: solovjevdenis@mail.ru

Solovjeva Inna A., ¹Tambov State University named after G.R. Derzhavin, 33 Internatsionalnaya St., Tambov, 392000, Russian Federation; ²Tambov State Technical University, 106 Sovetskaya St., Tambov, 392000, Russian Federation,

¹assistant, ²postgraduate student, e-mail: good.win32@yandex.ru

Khlebnikov Vladimir V., Tambov State University named after G.R. Derzhavin, 33 Internatsionalnaya St., Tambov, 392000, Russian Federation,

Cand. Sci. (Physics and Mathematics), Associate Professor, e-mail: khlebnikovvv@mail.ru

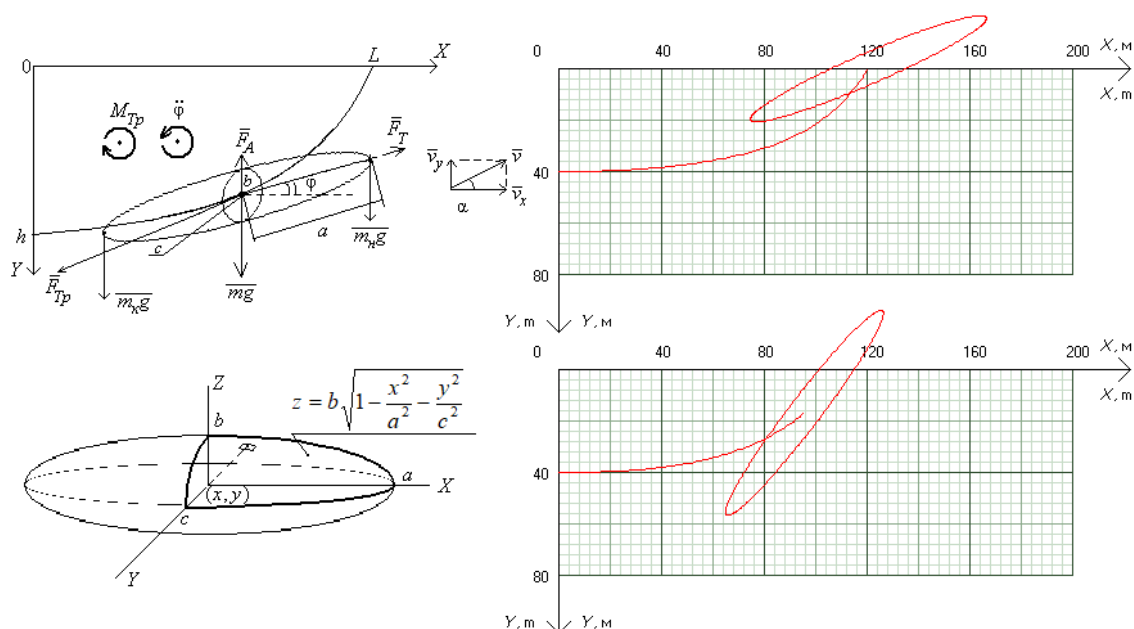
Samokhvalov Alexey V., Tambov State University named after G.R. Derzhavin, 33 Internatsionalnaya St., Tambov, 392000, Russian Federation,

Cand. Sci. (Pedagogy), Associate Professor, e-mail: samokhvalov@gmail.com

In article discusses the modeling problems the behavior of underwater vehicles, based on the analysis of which it was established that insufficient attention is paid to the influence research of the vehicle configuration on the immersion and ascent processes. The mathematical model development for optimal control of the immersion and ascent processes, taking into account the influence of the vehicle configuration on the basis of the accepted assumptions, is considered. The mathematical model is a Cauchy problem in the form of a system of second-order ordinary differential equations with initial conditions. The system of equations solution is described based on the Euler method with control of the time step. A software with a graphical user interface has been developed for numerical simulation. The ascent process modeling of the project 945 «Barracuda» submarine is considered as an example. Regularities that can be used to develop an optimal strategy for controlling the immersion or ascent processes of a submarine are identified based on the analysis of the numerical experiments results.

Keywords: mathematical model, underwater vehicle, immersion, ascent, numerical method, Cauchy problem, software

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. Численное моделирование является наиболее распространенным способом, применяемым при исследовании и оптимизации различных объектов и процессов [1–4]. В настоящее время все еще актуальными остаются вопросы изучения законов и процессов, связанных с передвижением механизмов и управлением ими в плотной среде. Одним из таких вопросов является компьютерное моделирование поведения подводных аппаратов с учетом различных факторов. В работе [5] рассматривается имитационное моделирование на основе динамических событий и дискретного времени для расчета уравнений движения подводной лодки. Работа [6] посвящена экспериментальному исследованию процесса статического всплытия модели объекта с заданной плавучестью и в заданном положении. В работах [7, 8] моделируется движение подводной лодки под поверхностью льда в ледяном покрове. Работа [9] демонстрирует движение погруженного тела с различной скоростью вблизи свободной поверхности жидкости. Работа [10] изучает характеристики гребного винта подводной лодки в условиях погружения и надводных условиях. В работе [11] моделируется плавучесть подводного аппарата с помощью изменения его объема. Работа [12] демонстрирует использование вычислительной гидродинамики для решения уравнения с шестью степенями свободы, описывающего движение подводного аппарата. Следует отметить, что недостаточное внимание уделяется исследованию влияния конфигурации аппарата на процессы погружения и всплытия. Для оптимального

управления процессами погружения и всплытия с учетом влияния конфигурации аппарата необходима разработка соответствующей математической модели.

Целью работы является численное моделирование погружения и всплытия подводных аппаратов с учетом их конфигурации (на примере подводных лодок).

Материалы и методы. Подводная лодка способна плыть при условии равенства ее массы массе воды, которую она вытесняет. Вытесненная вода вызывает восходящую силу, называемую плавучестью. Плавучесть действует в направлении, противоположном силе тяжести. При погружении под воду или всплытии на поверхность воды подводная лодка должна изменять свою плавучесть. Подводная лодка для контроля силы плавучести, действующей на нее, содержит балластные цистерны, которые заполняются/продуваются водой/воздухом, чтобы погрузиться/всплыть на поверхность. Балластные цистерны располагаются в различных положениях в зависимости от модели подводной лодки. В нижней части балластных цистерн имеются клапаны (кингстоны), которые открываются, когда подводной лодке приходит время погружаться. Кингстонный клапан работает в сочетании с вентиляционными отверстиями в верхней части цистерны, которые позволяют воздуху, попавшему в нее, выйти наружу. После выхода воздуха вода поступает на дно цистерны, что делает подводную лодку тяжелее и влечет за собой ее погружение. Для реализации процесса всплытия осуществляется закрытие вентиляционных отверстий и подача сжатого воздуха для выдавливания воды из цистерн через кингстоны, тем самым делая подводную лодку легче.

При построении математической модели будем исходить из следующих предположений:

- 1) сила сопротивления среды прямо пропорциональна скорости движения (обтекание ламинарное) и площади миделя;
- 2) при вращении лодки в среде сила сопротивления так же прямо пропорциональна линейной скорости участка миделя и площади этого участка с тем же коэффициентом пропорциональности, что и в предположении 1;
- 3) при всплытии с дифферентом можно пренебречь смещением центра тяжести и возникающими при этом дополнительными вращающимися моментами от действия сил трения, возникающими в результате наличия линейных скоростей;
- 4) мощность силы сопротивления при стремлении скорости к максимальному значению стремится по модулю к максимальной мощности силовой установки (так как при равномерном движении кинетическая энергия лодки не изменяется – суммарная мощность силовых установок и сил сопротивления, действующих на лодку, равна нулю);
- 5) до начала всплытия лодка двигалась прямолинейно и равномерно;
- 6) сила тяги направлена вдоль большой оси лодки и приложена к центру тяжести.

Пусть положение лодки однозначно задается координатами центра тяжести x , y и дифферентом φ . Введем систему координат для задания сил, действующих на тело, согласно рисунку 1.

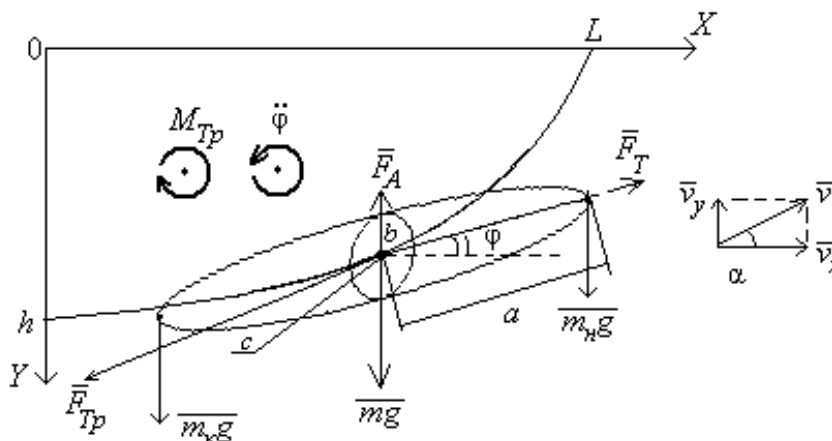


Рисунок 1 – Силы, действующие на движущееся тело

На рисунке 1 приняты следующие обозначения: F_T – сила тяги; F_A – сила Архимеда; F_{Tp} – сила трения; h – начальная глубина погружения по OY ; L – расстояние по OX ; v_x – скорость по OX ; v_y – скорость по OY ; a , b , c – длина, высота и ширина тела; g – ускорение свободного падения; m_n , m_k , m – масса в носовом и кормовом кингстоне, а также суммарная масса тела; M_{Tp} – момент сил трения при вращении вокруг оси OY ; α – угол между вектором скорости и горизонталью.

Спроецировав силы F_T , F_A и F_{Tp} на оси OX и OY и применив 2-й закон Ньютона, получим следующие соотношения:

$$OX: (m(\tau) + m_n(\tau) + m_k(\tau))\ddot{x}(\tau) = F_T \cos \varphi(\tau) - F_{Tp}(\tau) \cos \alpha(\tau), \quad (1)$$

$$OY: (m(\tau) + m_n(\tau) + m_k(\tau))\ddot{y}(\tau) = F_{Tp}(\tau) \sin \alpha(\tau) - F_T \sin \varphi(\tau) + (m(\tau) + m_n(\tau) + m_k(\tau))g - F_A, \quad (2)$$

где τ – момент времени.

Кроме того, лодка вращается относительно горизонтальной оси, проходящей через центр тяжести:

$$J\ddot{\varphi}(\tau) = (m_k(\tau) - m_n(\tau))ga \cos \varphi(\tau) - M_{Tp}(\tau), \quad (3)$$

где J – момент инерции при вращении вокруг горизонтальной оси OY , проходящей через центр тяжести.

Сила тяги определяется согласно:

$$F_T = \frac{P_{\max} v_0}{v_{\max}^2}, \quad (4)$$

где P_{\max} – максимальная мощность силовой установки лодки;

v_0, v_{\max} – начальная и максимальная скорость лодки.

При равномерном прямолинейном движении сила тяги F_T равна силе сопротивления F_{Tp} , которая пропорциональна скорости движения согласно допущению 1.

Сила Архимеда определяется согласно:

$$F_A = \rho g W, \quad (5)$$

где ρ – плотность среды;

W – объем тела, описываемого эллипсоидом:

$$W = \frac{4\pi}{3} abc. \quad (6)$$

Масса тела в носовом и кормовом кингстоне изменяется с течением времени по закону:

$$m_n(\tau) = m_{n0} - \delta\tau, \quad (7)$$

$$m_k(\tau) = m_{k0} + \delta\tau, \quad (8)$$

где m_{k0} – масса в носовом/кормовом кингстонах в начальный момент времени;

δ – скорость перекачки из носового кингстона в кормовой.

Суммарная масса тела с учетом центрального кингстона определяется согласно:

$$m(\tau) = m_{\min} + m_0 + 2m_{k0} - \gamma\tau, \quad (9)$$

где m_{\min} – минимальная масса лодки;

m_0 – начальная масса в центральном кингстоне;

γ – скорость опустошения центральных кингстонов.

Поскольку вектор траектории наклонен к большой оси вертикального сечения эллипсоида на угол $(\alpha - \varphi)$, мидель лодки представляет собой эллипс с полуосями c и $\sqrt{b^2 \cos^2(\alpha(\tau) - \varphi(\tau)) + a^2 \sin^2(\alpha(\tau) - \varphi(\tau))}$.

Так как сила трения F_{Tp} пропорциональна площади миделя S_m , то:

$$\begin{aligned} F_{Tp}(\tau) &= k v(\tau) S_m = \frac{P_{\max}}{v_{\max}^2 S_{m\min}} S_m v(\tau) = \frac{P_{\max}}{v_{\max}^2 \pi b c} S_m \sqrt{v_x^2(\tau) + v_y^2(\tau)} = \\ &= \frac{P_{\max}}{v_{\max}^2 \pi b c} \pi c \sqrt{b^2 \cos^2(\alpha(\tau) - \varphi(\tau)) + a^2 \sin^2(\alpha(\tau) - \varphi(\tau))} \sqrt{\dot{x}^2(\tau) + \dot{y}^2(\tau)} = \\ &= \frac{P_{\max}}{v_{\max}^2} \sqrt{b^2 \cos^2(\alpha(\tau) - \varphi(\tau)) + a^2 \sin^2(\alpha(\tau) - \varphi(\tau))} (\dot{x}^2(\tau) + \dot{y}^2(\tau)), \end{aligned} \quad (10)$$

где $S_{m\min}$ – минимальная площадь миделя; $\alpha(\tau)$ рассчитывается как:

$$\alpha(\tau) = \arctg \frac{-v_y(\tau)}{v_x(\tau)}. \quad (11)$$

Для определения момента силы трения M_{Tp} разобьем мидель вращения, который представляет собой эллипс с полуосями a и c (рис. 2), на элементарные сегменты dx и перейдем к пределу при стремлении длины наибольшего сегмента к нулю.

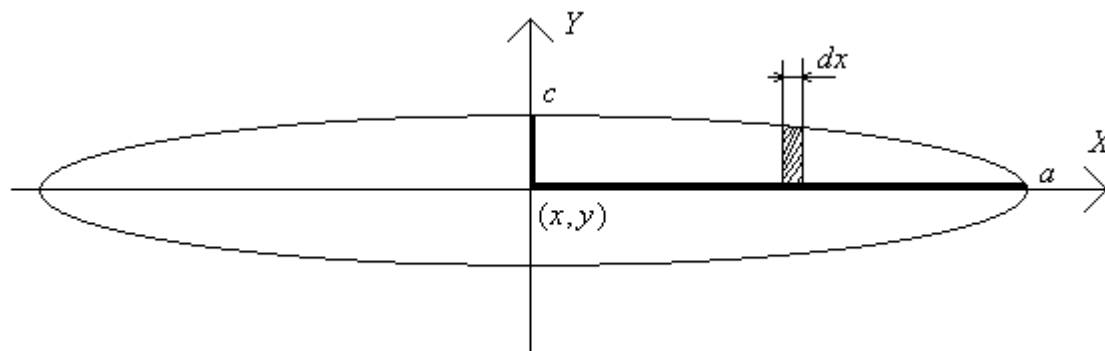


Рисунок 2 – Миделевое сечение тела

При расчете рассмотрим четверть миделя и умножим результат на 4, тогда получим, что:

$$M_{Tp}(\tau) = 4 \frac{P_{\max}}{\pi v_{\max}^2 b c} \int_0^a \omega(\tau) x c \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}} dx = \frac{2P_{\max} \omega(\tau) a^2}{\pi v_{\max}^2 b} \int_0^1 \sqrt{1 - t} dt = \frac{2P_{\max} \omega(\tau)}{\pi v_{\max}^2 b} \left(-a^2 \frac{2}{3} \sqrt{\left(1 - \frac{t}{a^2}\right)^3} \Big|_0^{a^2} \right) = \frac{4P_{\max} a^2}{3\pi v_{\max}^2 b} \omega(\tau), \quad (12)$$

где $\omega(\tau)$ – угловая скорость вращения.

Момент инерции J относительно оси вращения OY определим, условно положив, что масса воды в кингстонах сосредоточена в точках, масса лодки равномерно распределена по оболочке z (см. рисунок 3), уравнение верхней части поверхности которой имеет вид:

$$z = b \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{c^2}}. \quad (13)$$

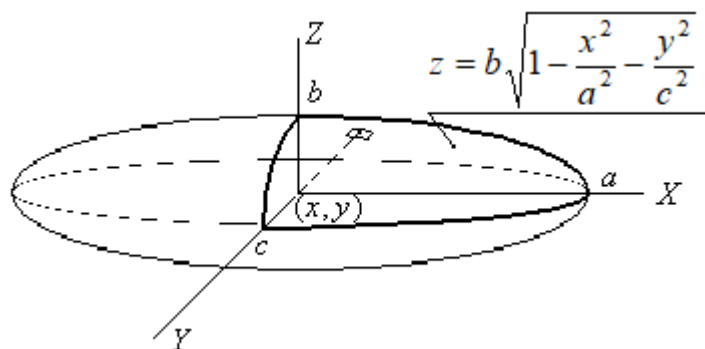


Рисунок 3 – Уравнение поверхности верхней оболочки лодки

Тогда площадь оболочки определяется как:

$$S_0 = 8 \int_0^a \int_0^{c \sqrt{1 - x^2/a^2}} \sqrt{1 + z_x^2 + z_y^2} dy dx = 8 \int_0^a \int_0^{c \sqrt{1 - x^2/a^2}} \sqrt{1 + b^2 \frac{x^2/a^4 + y^2/c^4}{1 - x^2/a^2 - y^2/c^2}} dy dx, \quad (14)$$

а момент инерции оболочки рассчитывается следующим образом:

$$\begin{aligned}
 J_0 &= 8 \frac{m_{\min}}{S_0} \int_0^{ac\sqrt{1-x^2/a^2}} \int_0^{ac\sqrt{1-x^2/a^2}} \left(b^2 + \frac{a^2-b^2}{a^2} x^2 + \frac{c^2-b^2}{c^2} y^2 \right) \sqrt{1+b^2 \frac{x^2/a^4 + y^2/c^4}{1-x^2/a^2 - y^2/c^2}} dy dx = \\
 &= m_{\min} \frac{\int_0^{ac\sqrt{1-x^2/a^2}} \int_0^{ac\sqrt{1-x^2/a^2}} \left(b^2 + \frac{a^2-b^2}{a^2} x^2 + \frac{b^2}{c^2} y^2 \right) \sqrt{1+b^2 \frac{x^2/a^4 + y^2/c^4}{1-x^2/a^2 - y^2/c^2}} dy dx}{\int_0^{ac\sqrt{1-x^2/a^2}} \int_0^{ac\sqrt{1-x^2/a^2}} \sqrt{1+b^2 \frac{x^2/a^4 + y^2/c^4}{1-x^2/a^2 - y^2/c^2}} dy dx}.
 \end{aligned} \quad (15)$$

В таком случае полный момент инерции примет вид:

$$J = J_0 + (m_n(\tau) + m_x(\tau))a^2 = J_0 + a^2 m_{k0}. \quad (16)$$

С учетом формул (4)–(16) перепишем уравнения (1)–(3) следующим образом:

$$\begin{cases}
 \ddot{x}(\tau) = (m(\tau) + m_n(\tau) + m_x(\tau))^{-1} \left(\frac{P_{\max} v_0}{v_{\max}^2} \cos \varphi(\tau) - F_{Tp}(\tau) \cos \alpha(\tau) \right) \\
 \ddot{y}(\tau) = (m(\tau) + m_n(\tau) + m_x(\tau))^{-1} \left(F_{Tp}(\tau) \sin \alpha(\tau) - F_T \sin \varphi(\tau) - \frac{4\pi abc g \rho}{3} \right) + g \\
 \ddot{\varphi}(\tau) = J^{-1} \left((m_x(\tau) - m_n(\tau)) g a \cos \varphi(\tau) - \frac{4P_{\max} a^2 \omega(\tau)}{3\pi v_{\max}^2 b} \right)
 \end{cases} \quad (17)$$

Полученную систему (17) можно свести к задаче Коши:

$$\begin{cases}
 \dot{v}_x(\tau) = (m(\tau) + m_n(\tau) + m_x(\tau))^{-1} \left(\frac{P_{\max} v_0}{v_{\max}^2} \cos \varphi(\tau) - F_{Tp}(\tau) \cos \alpha(\tau) \right) \\
 \dot{v}_y(\tau) = (m(\tau) + m_n(\tau) + m_x(\tau))^{-1} \left(F_{Tp}(\tau) \sin \alpha(\tau) - F_T \sin \varphi(\tau) - \frac{4\pi abc g \rho}{3} \right) + g \\
 \dot{\omega}(\tau) = J^{-1} \left((m_x(\tau) - m_n(\tau)) g a \cos \varphi(\tau) - \frac{4P_{\max} a^2 \omega(\tau)}{3\pi v_{\max}^2 b} \right) \\
 \dot{x}(\tau) = v_x(\tau) \\
 \dot{y}(\tau) = v_y(\tau) \\
 \dot{\varphi}(\tau) = \omega(\tau)
 \end{cases} \quad (18)$$

с начальными условиями:

$$\begin{cases}
 x(0) = 0 \\
 y(0) = h \\
 v_x(0) = v_0 \\
 v_y(0) = 0 \\
 \varphi(0) = 0 \\
 \omega(0) = 0
 \end{cases} \quad (19)$$

Решение системы (18) с начальными условиями (19) отыскивается на основе численного метода конечных разностей.

Следует отметить, что моделирование процесса погружения подводной лодки в точности по всем физическим законам совпадает с процессом всплытия, с той лишь разницей, что вектора поменяют свои направления на противоположные.

Экспериментальная часть. Решение системы (18) с начальными условиями (19) отыскивалось по следующему алгоритму:

1. Выбрать стартовый шаг по времени $d\tau$.

2. Для функций $x(\tau=0)$, $y(\tau=0)$, $v_x(\tau=0)$, $v_y(\tau=0)$, $\varphi(\tau=0)$, $\omega(\tau=0)$ согласно условиям (19) инициализировать начальные значения соответствующих элементов массивов: $x[i=0]=0$, $y[i=0]=h$, $v_x[i=0]=v_0$, $v_y[i=0]=0$, $\varphi[i=0]=0$, $\omega[i=0]=0$.

3. До тех пор, пока $y[i]>0$, вычислять значения $x[i+1]$, $y[i+1]$, $v_x[i+1]$, $v_y[i+1]$, $\varphi[i+1]$, $\omega[i+1]$ по формулам Эйлера [13]:

$$\begin{aligned}
x[i+1] &= x[i] + dt f_1(x[i], y[i], vx[i], vy[i], fi[i], omega[i], idt) \\
y[i+1] &= y[i] + dt f_2(x[i], y[i], vx[i], vy[i], fi[i], omega[i], idt) \\
vx[i+1] &= vx[i] + dt f_3(x[i], y[i], vx[i], vy[i], fi[i], omega[i], idt) \\
vy[i+1] &= vy[i] + dt f_4(x[i], y[i], vx[i], vy[i], fi[i], omega[i], idt) \\
fi[i+1] &= fi[i] + dt f_5(x[i], y[i], vx[i], vy[i], fi[i], omega[i], idt) \\
omega[i+1] &= omega[i] + dt f_6(x[i], y[i], vx[i], vy[i], fi[i], omega[i], idt) \\
i &= i + 1 \\
\tau &= \tau + dt,
\end{aligned}$$

где $f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6$ – соответствующие функции в правой части системы уравнений (18).

4. Шаг по времени dt уменьшить в 2 раза и выполнить пп. 2, 3.

5. Сравнить новое и старое значения $x[MaxInd]$, где $MaxInd$ – индекс последнего элемента в массиве x . Повторить п. 4 до тех пор, пока разница между предыдущим и последующим значениями $x[MaxInd]$ превышает точность вычислений ϵ .

В результате работы алгоритма массивы x, y, vx, vy содержат координаты точек траектории и величины скоростей в этих точках, вычисленные с требуемой точностью.

Для численного моделирования было разработано программное обеспечение с графическим интерфейсом пользователя в среде *Embarcadero Delphi 10.4 Sydney* [14]. Данное программное обеспечение предусматривает возможность задания размеров лодки (длина, высота и ширина, м) и начальных параметров всплытия подводной лодки: минимальная масса, кг; максимальная мощность силовых установок, Вт; максимальная скорость, м/с; общее заполнение кингстонов, кг; масса воды в носовом и кормовом кингстонах, кг; скорость опустошения и скорость перекачки из носового в кормовой кингстон, кг/с; плотность среды кг/м^3 ; начальная глубина погружения, м; начальная скорость, м/с. В результате моделирования программного обеспечения осуществляет расчет следующих параметров: скорости лодки по осям OX и OY , м/с; угол между вектором скорости и горизонталью, °; длительность всплытия, с; расстояние, пройденное лодкой в процессе всплытия, м; дифферент, °; общая масса лодки, кг; масса воды в центральном кингстоне, кг. На основе рассчитанных параметров осуществляется визуализация траектории всплытия подводной лодки.

Для моделирования были использованы параметры подводных лодок третьего поколения проекта 945 «Барракуда» по кодификации «*Sierra-I*», построенных в 1979-1986 годах в СССР [15]. Данная подводная лодка имела размеры $a = 50$ м, $b = 6$ м, $c = 4,5$ м, минимальную массу $m_{\min} = 4 \cdot 10^6$ кг, максимальную мощность силовых установок $P_{\max} = 31,65 \cdot 10^6$ Вт и максимальную скорость $v_{\max} = 18$ м/с. Расчеты осуществлялись при плотности воды $\rho = 1000$ кг/м^3 для температуры 4 °С.

Результаты и их обсуждение. При исходных данных: глубина погружения $h = 40$ м; начальная скорость $v_0 = 1,02$ м/с и суммарная масса $m = 5,654 \cdot 10^6$ кг; начальная масса в центральном $m_0 = 1,4 \cdot 10^6$ кг и носовом $m_{k0} = 0,127 \cdot 10^6$ кг кингстоне; скорость перекачки $\delta = 1$ кг/с и опустошения $\gamma = 50$ кг/с – в результате моделирования с точностью $\epsilon = 0,001$ м получены следующие расчетные значения на момент всплытия: скорость лодки $v_x = 0,2$ м/с и $v_y = 0,31$ м/с; угол между вектором скорости и горизонталью $\alpha = 57^\circ$; длительность всплытия $\tau = 219,9$ с; расстояние, пройденное лодкой в процессе всплытия, $L = 120,5$ м; дифферент $\phi = 23,43^\circ$; суммарная масса лодки $m = 5,643 \cdot 10^6$ кг; масса воды в центральном кингстоне $m_0 = 1,643 \cdot 10^6$ кг. На рисунке 4 демонстрируется траектория всплытия подводной лодки, соответствующая расчетным данным.

При изменении скорости перекачки с $\delta = 1$ кг/с до $\delta = 5$ кг/с в результате моделирования получены следующие расчетные значения на момент всплытия: скорость лодки $v_x = 0,63$ м/с и $v_y = 0,55$ м/с; угол между вектором скорости и горизонталью $\alpha = 41,15^\circ$; длительность всплытия $\tau = 101,6$ с; расстояние, пройденное лодкой в процессе всплытия, $L = 95,5$ м; дифферент $\phi = 52,58^\circ$; суммарная масса лодки $m = 5,648 \cdot 10^6$ кг; масса воды в центральном кингстоне $m_0 = 1,648 \cdot 10^6$ кг. Данные результаты соответствуют опрокидыванию лодки вследствие слишком большого угла дифферента, вызванного выбором неверных параметров перекачки воды из носового в кормовые кингстоны. На рисунке 5 демонстрируются недопустимая траектория всплытия подводной лодки, соответствующая расчетным данным.

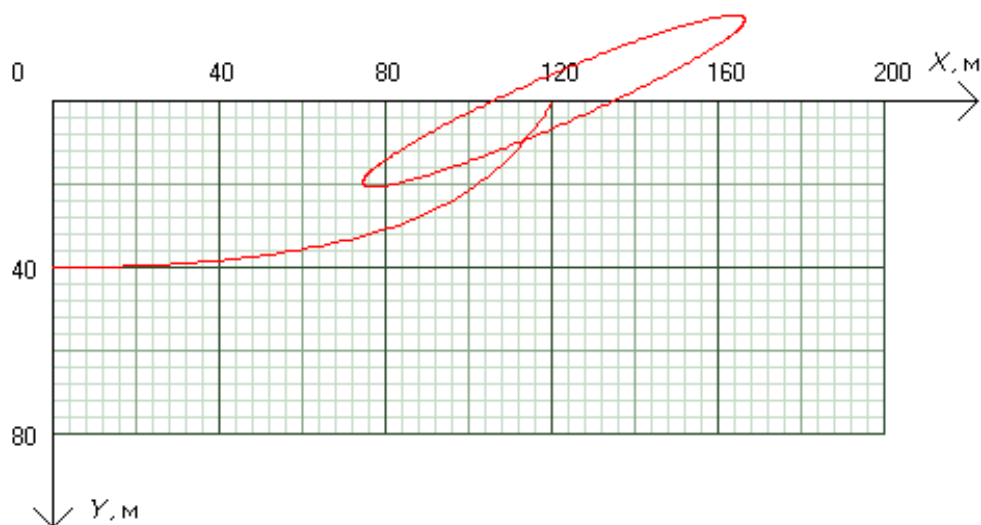


Рисунок 4 – Допустимая траектория всплытия подводной лодки

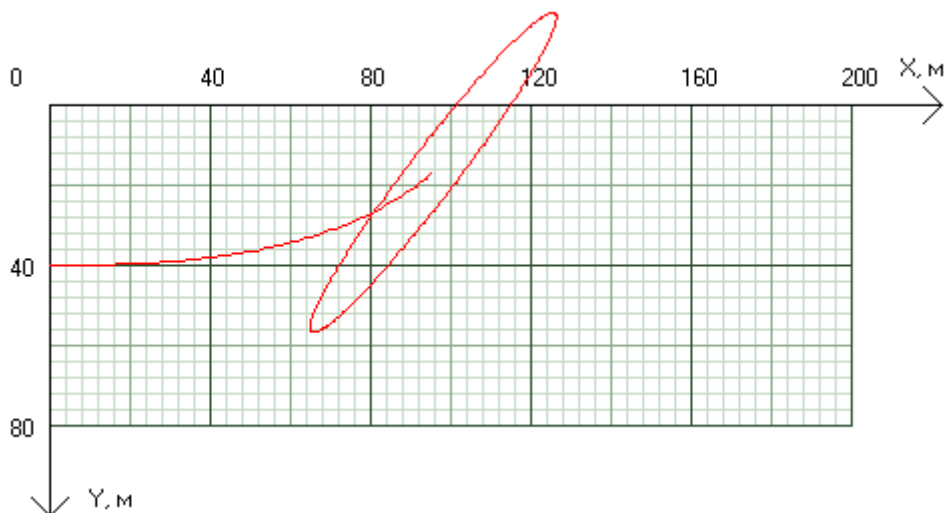


Рисунок 5 – Недопустимая траектория всплытия подводной лодки

Дальнейший анализ численных экспериментов выявил ряд закономерностей:

1. При малой начальной скорости горизонтального движения скорость опустошения центрального кингстона должна превышать скорость перекачки воды из носового кингстона в кормовой не менее чем на полтора порядка. Другими словами, скорость перекачки воды должна быть более чем в 50 раз меньше скорости опустошения центрального кингстона. В противном случае предельный дифферент будет достигнут до окончания процесса всплытия. При погружении речь должна идти о скорости заполнения центрального кингстона водой.

2. При больших скоростях горизонтального движения (порядка 10 м/с) разница в скоростях может приближаться к одному порядку. То есть скорость опустошения (или заполнения) центрального кингстона может превышать скорость перекачки воды из носового в кормовой (или наоборот) кингстон в 10 и более раз. При меньшей разности скоростей предельный дифферент достигается раньше окончания процесса всплытия (или погружения).

Заключение. Для повышения адекватности результатов математического моделирования погружения и всплытия подводной лодки был предложен ряд усложнений, направленный на учет ее конфигурации. Формулы, использованные для решения системы уравнений математической модели в п. 3 алгоритма, были выбраны в силу их простоты, а сам алгоритм расчета по ним организован так, что гарантируется заданная мера близости решения к точному с точки зрения требуемого модуля разности между значениями горизонтальной длины траектории, соответствующими точному и приближенному решениям. Вместо формул п. 3 можно использовать, в частности, метод

Рунге – Кутта, однако выражения для такой системы (6 на 6 уравнений) будут весьма громоздкими и повлекут увеличение длительности расчета. С использованием разработанного программного обеспечения имеется возможность проводить численные эксперименты для других подводных аппаратов с учетом их особенностей (форма корпуса, мощность силовой установки, максимальная скорость и так далее), анализ результатов которых можно использовать для выработки оптимальной стратегии управления процессами погружения или всплытия. Оптимизируемыми параметрами могут являться: длительность процесса, пройденное расстояние, затраченная энергия, минимальная разность между углом вектора скорости движения и дифферента.

Библиографический список

1. Mudarisov, S. G. Modeling the technological process of tillage / S. G. Mudarisov, I. I. Gabitov, Y. P. Lobachevsky, N. K. Mazitov, R. S. Rakhimov, R. R. Khamaletdinov, I. R. Rakhimov, I. M. Farkhutdinov, A. M. Mukhametdinov, R. T. Gareev // *Soil and Tillage Research*. – 2019. – Vol. 190. – P. 70–77.
2. Легкоступов, М. С. К вопросу о модели образования планетных систем звезд солнечного типа / М. С. Легкоступов // *Математическое моделирование*. – 2020. – Т. 32, № 3. – С. 81–101.
3. Кубышкин, В. А. Оптимальное по быстрдействию граничное управление для систем, описываемых уравнением диффузии дробного порядка / В. А. Кубышкин, С. С. Постнов // *Автоматика и телемеханика*. – 2018. – № 5. – С. 137–152.
4. Соловьев, Д. С. Применение решения обратной задачи математического моделирования гальванического процесса для оптимизации неравномерности толщины покрытия / Д. С. Соловьев, И. А. Соловьева, Ю. В. Литовка // *Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии*. – 2020. – № 1 (49). – С. 131–143.
5. Cha, J.-H. Submarine Diving and Surfacing Simulation Using Discrete Event and Dynamic-based Discrete Time Combined Modeling Architecture / J.-H. Cha, M.-I. Roh, K.-Y. Lee // *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*. – 2010. – Vol. 47 (2). – P. 248–257.
6. Свистунов, И. А. Физическое моделирование статического всплытия подводной лодки из-под льда в ледовом бассейне ААНИИ / И. А. Свистунов, А. В. Чернов, Н. А. Крупина, В. А. Лихоманов, П. В. Максимова // *Проблемы Арктики и Антарктики*. – 2016. – № 3 (109). – С. 85–93.
7. Грамузов, Е. М. Погружение подводного судна, вмержшего в лед / Е. М. Грамузов, А. Г. Ларин // *Полярная механика*. – 2018. – № 4. – С. 111–116.
8. Земляк, В. Л. Оценка эффективности всплытия подводных судов в ледяном покрове, ослабленном свободной кромкой / В. Л. Земляк, В. М. Козин, А. В. Погорелова, Н. О. Баурин, К. И. Ипатов, С. В. Радионов // *Полярная механика*. – 2018. – № 4. – С. 217–226.
9. Земляк, В. Л. Движение погруженного тела вблизи свободной поверхности жидкости / В. Л. Земляк, А. С. Васильев, В. М. Козин // *Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета*. – 2020. – № 4 (45). – С. 16–25.
10. Vali, A. Experimental and Numerical Study of a Submarine and Propeller Behaviors in Submergence and Surface Conditions / A. Vali, B. Saranjam, R. Kamali // *Journal of Applied Fluid Mechanics*. – 2018. – Vol. 11. – P. 1297–1308.
11. Ремизов, И. И. Об оценке целесообразности использования системы регулирования плавучести подводного аппарата на основе принципа изменения его объема / И. И. Ремизов, И. В. Говорун // *Морской вестник*. – 2019. – № 1(69). – С. 14–17.
12. Zhang, Z. Numerical Simulation of Submarine Surfacing Motion in Regular Waves / Z. Zhang, L. Guo, P. Wei, X. Wang, D. Feng // *Iranian Journal of Science and Technology: Transactions of Mechanical Engineering*. – 2020. – Vol. 44(8). – P. 359–372.
13. Самарский, А. А. Численные методы математической физики / А. А. Самарский, А. В. Гулин. – Москва : Научный мир, 2000. – 358 с.
14. Соловьев, Д. С. Численное моделирование погружения и всплытия подводной лодки с учетом ее конфигурации : свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2021614952 / Д. С. Соловьев, И. А. Соловьева, В. В. Хлебников, А. В. Самохвалов, А. А. Скворцов. – Дата регистрации 01.04.2021.
15. Ильин, В. Е. Подводные лодки России. Иллюстрированный справочник / В. Е. Ильин, А. И. Колесников. – Москва : АСТ, 2002. – 140 с.

References

1. Mudarisov, S. G., Gabitov, I. I., Lobachevsky, Y. P., Mazitov N. K., Rakhimov R. S., Khamaletdinov R. R., Rakhimov I. R., Farkhutdinov I. M., Mukhametdinov A. M., Gareev R. T. Modeling the technological process of tillage. *Soil and Tillage Research*, 2019, vol. 190, pp. 70–77.
2. Legkostupov, M. S. K voprosu o modeli obrazovaniya planetnykh sistem zvezd solnechnogo tipa [On the issue of the model of formation of planet systems of the solar-type stars]. *Matematicheskoe modelirovanie* [Mathematical Models and Computer Simulations], 2020. vol. 32, no. 3. pp. 81–101.
3. Kubyshkin, V. A., Postnov, S. S. Optimalnoe po bystrodeystviyu granichnoe upravlenie dlya sistem, opisyvaemykh uravneniem diffuzii drobnogo poryadka [Time-optimal boundary control for systems defined by a fractional order diffusion equation]. *Avtomatika i telemekhanika* [Automation and Remote Control], 2018, no. 5, pp. 137–152.

4. Solovyev, D. S., Solovyeva, I. A., Litovka, Yu. V. Primenenie resheniya obratnoy zadachi matematicheskogo modelirovaniya galvanicheskogo protsessa dlya optimizatsii neravnomernosti tolshchiny pokrytiya [Inverse problem solution of the mathematical modeling for galvanic process to optimize the non-uniformity of the coating thickness]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2020, no. 1 (49), pp. 131–143.
5. Cha J.-H., Roh M.-I., Lee K.-Y. Submarine Diving and Surfacing Simulation Using Discrete Event and Dynamic-based Discrete Time Combined Modeling Architecture. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 2010, vol. 47 (2), pp. 248–257.
6. Svistunov, I. A., Chernov, A. V., Krupina, N. A., Likhomanov, V. A., Maksimova, P. V. Fizicheskoe modelirovanie staticheskogo vsplytiya podvodnoy lodki iz-podo lda v ledovom bassejne AANI [Physical modeling of surfacing underwater object from under the ice in the AARI's ice tank]. *Problemy Arktiki i Antarktiki* [Arctic and Antarctic Research], 2016, no. 3 (109), pp. 85–93.
7. Gramuzov, E. M., Larin, A. G. Pogruzhenie podvodnogo sudna, vmerzshego v led [Diving of the underwater vessel become ice-bound]. *Polyarnaya mekhanika* [Polar Mechanics], 2018, no. 4, pp. 111–116.
8. Zemlyak, V. L., Kozin, V. M., Pogorelova, A. V., Baurin, N. O., Ipatov, K. I., Radionov, S. V. Otsenka effektivnosti vsplytiya podvodnykh sudov v ledyanom pokrove, oslablennom svobodnoy kromkoy [Assessment of the effectiveness of the surfacing of submarine vessels in the ice cover, weakened by the free edge]. *Polyarnaya mekhanika* [Polar Mechanics], 2018, no. 4, pp. 217–226.
9. Zemlyak, V. L., Vasilyev, A. S., Kozin, V. M. Dvizhenie pogruzhennogo tela vblizi svobodnoy poverhnosti zhidkosti [The movement of a submerged body near the free surface of a liquid]. *Vestnik Inzhenernoy shkoly Dalnevostochnogo federalnogo universiteta* [FEFU: School of Engineering Bulletin], 2020, no. 4 (45), pp. 16–25.
10. Vali, A., Saranjam, B., Kamali, R. Experimental and Numerical Study of a Submarine and Propeller Behaviors in Submergence and Surface Conditions. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 2018, vol. 11, pp. 1297–1308.
11. Remizov, I. I., Govorun, I. V. Ob otsenke tselesoobraznosti ispolzovaniya sistemy regulirovaniya plavuchesti podvodnogo apparata na osnove printsipa izmeneniya ego obema [On assessing the feasibility of using a system for controlling the buoyancy of an underwater vehicle based on the principle of changing its volume]. *Morskoy vestnik* [Marine Bulletin], 2019, no. 1 (69), pp. 14–17.
12. Zhang, Z., Guo, L., Wei, P., Wang, X., Feng, D. Numerical Simulation of Submarine Surfacing Motion in Regular Waves. *Iranian Journal of Science and Technology: Transactions of Mechanical Engineering*, 2020, vol. 44 (8), pp. 359–372.
13. Samarsky, A. A., Gulin, A. V. *Chislennyye metody matematicheskoy fiziki* [Numerical methods of mathematical physics]. Moscow, Nauchnyy mir Publ., 2000. 358 p.
14. Solovyev D. S., Solovyeva I. A., Khlebnikov V. V., Samokhvalov A. V., Skvortsov A. A. *Chislennoe modelirovanie pogruzheniya i vsplytiya podvodnoy lodki s uchetom ee konfiguratsii : svidetelstvo ob ofitsialnoy registratsii programm dlya EVM № 2021614952* [Numerical simulation of immersion and ascent processes for submarine taking into account its configuration : certificate on official registration of the computer program No. 2021614952], registration date 01.04.2021.
15. Ilin, V. E., Kolesnikov, A. I. *Podvodnye lodki Rossii. Illyustrirovannyi spravochnik* [Submarines of Russia. An Illustrated Guide]. Moscow, AST Publ., 2002. 140 p.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1. В журнале публикуются материалы на английском и русском языках по тематике, соответствующей утвержденным для журнала отраслям наук, группам специальностей.

2. В список соавторов работ включаются только те лица, которые внесли творческий вклад в подготовку представленных материалов. Лицам, оказавшим только техническую помощь, можно выразить благодарность в конце статьи. Один человек может быть автором (соавтором) не более чем двух статей в одном номере журнала, причем единственным автором он может быть только в одной статье.

3. Объем публикаций для научных статей должен быть не менее 8 страниц, а количество источников в библиографическом списке (списке литературы) – не менее 10 позиций.

4. Содержание каждой статьи должно включать следующие элементы: УДК; название статьи; сведения об авторах, включая их место работы, должность, адрес электронной почты; аннотацию объемом от 100 до 250 слов, ключевые слова (от 9 до 13); графическую аннотацию, отражающую содержание статьи; название статьи, сведения об авторах, аннотацию и ключевые слова на английском языке (для англоязычных статей – на русском языке); введение – оно должно заканчиваться формулировкой цели работы в явной форме; собственно текст статьи – очень желательна его сегментация на разделы, имеющие содержательные заголовки; выводы или заключение (должны соответствовать формулировке цели статьи).

5. Для русскоязычных статей приводится два библиографических списка: на языке оригинала статьи; список с транслитерацией русскоязычных источников на латиницу и (дополнительно) приведением в квадратных скобках переводов названий статей и названий источников на английский язык.

В «русскоязычном» библиографическом списке (списке литературы) порядок следования источников – по алфавиту фамилий авторов (сначала русскоязычные источники, потом иноязычные). На все источники, включенные в библиографический список, должны быть даны ссылки в тексте статьи в квадратных скобках. При необходимости авторы могут указывать номера страниц в источниках, на которые даются ссылки. Приветствуются ссылки на иноязычные источники, а также на материалы, опубликованные ранее в журнале «Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии». Однако в последнем случае количество таких ссылок не должно превышать 20 % от общего количества источников, включенных в библиографический список. Для источников, имеющих DOI, целесообразно его указывать. При ссылках на статьи, опубликованные в журнале «Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии», целесообразно в конце библиографического описания источника в круглых скобках указывать гиперссылку, указывающую на место размещения статьи на странице сайта Астраханского государственного университета.

Ссылки в библиографическом списке на материалы, размещенные в интернете, допускаются при соблюдении следующих условий: если у материала, на который дается ссылка, имеется автор и/или название, то они должны быть указаны для этого источника; должен быть приведен полный маршрут доступа к источнику в интернете; должна быть указана дата обращения (доступа) к источнику.

Ограничения по списку литературы: доля самоцитирований для любого из авторов статьи, а также по совокупности всех авторов статьи, не должна превышать 25 %; доля ссылок на статьи с участием одного автора, не являющегося автором (соавтором) статьи, не должна превышать 25 %.

6. Суммарная доля таблиц и иллюстраций в общем объеме представляемой статьи не должна превышать 40 %. Под иллюстрациями понимаются следующие объекты: диаграммы; графики; рисунки; эскизы; фотографии; карты и т.п.

7. Доля оригинального текста в статьях (оцениваемого через систему «Антиплагиат» на сайте www.antiplagiat.ru) должна быть не менее 80 %.

8. Указание на то, что работа финансируется по какому-либо гранту, в рамках Федеральной целевой программы, государственного заказа и пр. дается в виде постраничной сноски после заголовка (названия) работы.

9. В сведения об авторах работ помимо места работы и должности целесообразно включать ORCID автора и гиперссылку на страничку с его личными наукометрическими показателями на сайте www.elibrary.ru. По желанию можно привести также ссылки на странички с наукометрическими показателями на Scopus, в ResearchGate; на личную страничку, размещенную на сайте организации.

10. Основные технические требования к оформлению статей (материалов):

10.1. Текст должен быть расположен по ширине страницы формата А4 с учётом полей (все поля по 2,5 см), набран шрифтом Times New Roman, кегль 14, межстрочный интервал 1,0. В таблицах, подрисовочных надписях допускается уменьшенный шрифт – вплоть до 10 кегля. Альбомная ориентация страниц допускается только в порядке исключения для следующих случаев: широкоформатные таблицы с большим количеством колонок; иллюстрации большого размера, которые не умещаются на странице с книжной ориентацией.

Абзацные отступы одинаковы по всему тексту – 1,25 см. Кавычки («»), скобки ([], ()), маркеры и другие знаки должны быть аналогичными на протяжении всего предоставляемого для публикации материала.

10.2. Все таблицы, рисунки, формулы должны иметь сквозную нумерацию в пределах текста статьи. Заголовки таблиц пишутся над ними и должны включать в себя номер таблицы и ее содержательное наименование.

10.3 Формулы должны иметь сквозную нумерацию в пределах текста статьи. Для формул желательно избегать «многоэтажных конструкций». Нумероваться могут только те формулы, на которые есть ссылки в статье. Размеры шрифтов для формул в MS Equation Editor: основные символы – 14 пт.; подстрочные и надстрочные индексы – 10 пт.; дополнительные индексы для подстрочных и надстрочных индексов – 8 пунктов. Константы в формулах записываются прямым шрифтом, переменные – курсивом (наклонным шрифтом); векторные и матричные величины – полужирным шрифтом. Матричные величины могут указываться в квадратных скобках, векторные величины (наборы скаляров) – в фигурных скобках.

Дополнительная информация для авторов статей

Основная тематика журнала и требования к научному уровню представляемых статей – <http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/trebvaniya.pdf>.

Адрес и телефоны редакционно-издательского дома – <http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/address.pdf>.

Пример оформления текста статьи – <http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/primer.pdf>.

Рекомендации по оформлению графических аннотаций – http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/graf_ann.pdf, дополнительных материалов к статьям – http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/dop_mat.pdf.

Подробные правила оформления таблиц – <http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/tables.pdf>, оформления формул – <http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/formul.pdf>, оформления иллюстраций – <http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/ilustr.pdf>.

Пример оформления основного списка литературы к статье – http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/spisok_liter.pdf, транслитерированного списка – http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/trasn_spisok_liter.pdf.

Дополнительные документы к статьям, представляемые авторами – http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/dop_doc.pdf.

Переписка с авторами и порядок рецензирования статей – http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/poryadok_recenz.pdf.

Условия и порядок оплаты статей – http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/poryadok_oplaty.pdf.

**Подписка на наши издания осуществляется
по Объединённому каталогу «Пресса России»**

Журнал фундаментальных и прикладных исследований «Гуманитарные исследования»

Подписной индекс – 11109

В журнале публикуются статьи по широкому спектру проблем гуманитарного знания. Ведущие направления публикаций отражены в следующих рубриках: «Языкознание», «Литературоведение».

Периодичность издания – 4 раза в год.

Ориентировочная стоимость одного номера – 3762 руб.

Телефон: (8512) 24-64-95. E-mail: asupress@yandex.ru

Научно-технический журнал «Геология, география и глобальная энергия»

Подписной индекс – 11173

Редколлегия журнала принимает к рассмотрению статьи по проблемам геологии, нефтегазоносности различных регионов, охватывающие важнейшие и крайне полезные для науки и производства, а также для обучения студентов естественного направления.

Периодичность издания – 4 раза в год.

Ориентировочная стоимость одного номера – 4500 руб.

Телефон: (8512) 24-64-95. E-mail: asupress@yandex.ru

Научный журнал «Каспийский регион: политика, экономика, культура»

Подписной индекс – 11170

Профиль журнала – анализ проблем настоящего, прошлого и будущего Каспийского региона в их взаимосвязи с современным развитием мира.

Издание имеет многоплановый, междисциплинарный характер, знакомит читателя с исследованиями и дискуссиями во всех областях социальных и гуманитарных знаний по проблемам Каспийского региона.

Периодичность издания – 4 раза в год.

Ориентировочная стоимость одного номера – 3500 руб.

Телефон: (8512) 24-64-95. E-mail: asupress@yandex.ru

Научно-технический журнал «Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии»

Подписной индекс – 73313

На страницах журнала представлены результаты исследований и новейшие разработки в области технических наук.

Ведущие направления публикаций отражены в следующих рубриках: «Управление в социальных и экономических системах», «Системный анализ, управление и обработка информации», «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», «Информационная безопасность и защита информации», «Информационно-измерительные и управляющие системы».

Периодичность издания – 4 раза в год.

Ориентировочная стоимость одного номера – 9000 руб.

Телефон: (8512) 24-64-95. E-mail: asupress@yandex.ru

Предлагаем всем желающим разместить в наших изданиях рекламу.

Адрес Издательского дома «Астраханский университет»:

414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а; тел. (8512) 24-64-95, 24-68-37

e-mail: asupress@yandex.ru

ПРИКАСПИЙСКИЙ ЖУРНАЛ: **управление и высокие технологии**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

2021
№ 4 (56)

Свидетельство о регистрации средства массовой информации
Федеральной службы по надзору в сфере массовых коммуникаций,
связи и охраны культурного наследия
ПИ № ФС77-31932 от 16 мая 2008 г.

Учредитель
Астраханский государственный университет
Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а

Адрес редакции:
Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20

Адрес издателя:
Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а

Подписной индекс – 73313
По Объединенному каталогу «Пресса России»

Главный редактор И.М. Ажмухамедов

Техническое редактирование,
компьютерная правка, верстка *Н.Н. Сахно*

Дата выхода в свет 10.12.2021 г.

Цена свободная
Уч.-изд. 9,2. Усл. печ. л. 12,9.
Заказ № 4379. Тираж 500 экз. (первый завод – 22 экз.)

Оттиражировано на базе Издательского дома «Астраханский университет»
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а
Тел. (8512) 24-64-95, тел./факс (8512) 24-68-37
E-mail: asupress@yandex.ru